

Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa



© BSN 2012

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Gd. Manggala Wanabakti
Blok IV, Lt. 3,4,7,10.
Telp. +6221-5747043
Fax. +6221-5747045
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar Isi

Daftar Isi	i
Prakata	ii
Pendahuluan.....	iii
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan defenisi	2
4 Data perencanaan campuran beton	3
5 Prosedur	3
Lampiran A.....	18
Lampiran B.....	26
Lampiran C	40



Prakata

Standar ini menjelaskan tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa dengan menggunakan berbagai jenis/ tipe semen. Standar ini merupakan adopsi modifikasi dari ACI 211.1-91 '*Standar practice for selecting proportion for normal, heavyweight, and mass concrete*'.

Standar ini disusun oleh Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil melalui Gugus Kerja Bahan Bangunan pada Subpanitia Teknis 91-01-S4 Bahan, Sains, Struktur dan Konstruksi Bangunan.

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) Nomor 8 Tahun 2007 dan dibahas dalam forum konsensus tanggal 16 September 2009 di Bandung yang melibatkan para narasumber, pakar dan lembaga terkait.



Pendahuluan

Pada dasarnya, beton terdiri dari agregat, semen hidrolis, air, dan boleh mengandung bahan bersifat semen lainnya dan atau bahan tambahan kimia lainnya. Beton dapat mengandung sejumlah rongga udara yang terperangkap atau dapat juga rongga udara yang sengaja dimasukkan melalui penambahan bahan tambahan. Bahan tambahan kimia sering digunakan untuk mempercepat, memperlambat, memperbaiki sifat kemudahan pengerjaan (*workability*), mengurangi air pencampur, menambah kekuatan, atau mengubah sifat-sifat lain dari beton yang dihasilkan.

Beberapa bahan bersifat semen seperti abu terbang, pozolan alam / tras, tepung terak tanur tinggi dan serbuk silika dapat digunakan bersama-sama dengan semen hidrolis untuk menekan harga atau untuk memberikan sifat-sifat tertentu seperti misalnya untuk mengurangi panas hidrasi awal, menambah perkembangan kekuatan akhir, atau menambah daya tahan terhadap reaksi alkali-agregat atau serangan sulfat, menambah kerapatan, dan ketahanan terhadap masuknya larutan-larutan perusak.

Umumnya proporsi beton yang tidak mengandung bahan tambahan kimia dan atau bahan-bahan selain semen hidrolis, dicampur ulang dengan menggunakan bahan-bahan tersebut di atas atau semen yang berbeda. Karakteristik dari beton yang dicampur ulang ini harus diperiksa kembali dengan campuran percobaan di laboratorium atau di lapangan.



Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa

1 Ruang lingkup

Tata cara ini menguraikan tentang metode pemilihan campuran beton dengan semen hidrolis yang dibuat dengan atau tanpa bahan-bahan bersifat semen atau bahan tambahan kimia lainnya. Beton ini terdiri dari agregat normal dan atau berat (untuk membedakannya dari agregat ringan) dengan sifat kemudahan pengerjaan (*workability*) yang sesuai untuk pekerjaan-pekerjaan konstruksi umumnya. Bahan pengikat hidrolis yang diacu dalam standar ini adalah Semen Portland (SNI 15-2049-2004), Semen Portland Pozzolan (SNI 15-0302-2004), Semen Portland Komposit (SNI 15-7064-2004), dan Semen Portland Campur (SNI 15-3500-2004). Standar ini tidak untuk menentukan pemilihan campuran yang menggunakan serbuk silika padat (*condensed silica fume*).

Metode ini memberikan perkiraan awal pemilihan campuran yang diperiksa lebih lanjut dengan percobaan di laboratorium sesuai dengan lampiran D atau di lapangan, dan bila perlu disesuaikan, untuk mendapatkan karakteristik atau sifat-sifat khusus yang diinginkan dari beton yang dihasilkan.

Dalam standar ini, digunakan satuan SI.

2 Acuan normatif

SNI 1750, *Mutu dan cara uji agregat.*

SNI 1969, *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.*

SNI 1970, *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus.*

SNI 1968, *Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar.*

SNI 1973, *Cara uji berat isi, volume produksi campuran dan kadar udara beton.*

SNI 2495, *Spesifikasi bahan tambahan untuk beton.*

SNI 2460, *Spesifikasi abu terbang sebagai tambahan untuk campuran beton.*

SNI 2493, *Metode pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium.*

SNI 3418, *Metode pengujian kandungan udara pada beton segar.*

SNI 4433, *Spesifikasi beton siap pakai.*

SNI 4804, *Metode pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat.*

SNI 3500, *Semen portland campur.*

SNI 2049, *Semen portland.*

SNI 7064, *Semen portland komposit.*

ACI 201, *Guide to durable concrete.*

ACI 226.1R, *Ground granulated blast-furnace slag as a cementitious constituent in concrete.*

ACI 214, *Recommended practice for evaluation of strength test results of concrete.*

ACI 225R, *Guide to the selection and use of hydraulic cements.*

ACI 301, *Specification for structural concrete for buildings*.

ACI 302, *Guide for concrete floor and slab construction*.

ACI 318, *Building code requirements for reinforced concrete*.

ACI 345, *Standard practice for concrete highway bridge deck construction*.

3 Istilah dan definisi

3.1

semen portland

semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain

3.2

semen portland jenis I

semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain

3.3

semen portland jenis II

semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kadar hidrasi sedang

3.4

semen portland jenis III

semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi

3.5

semen portland jenis IV

semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah

3.6

semen portland pozzolan

semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozzolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozzolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozzolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzolan 6 % sampai dengan 40 % massa semen portland pozzolan

3.7

pozzolan

bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen

3.8

semen portland komposit

bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan antara satu atau lebih vahan organik bersama-sama terak semen portland dan gips, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland

dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari massa semen portland komposit

3.9

bahan tambahan

bahan berupa bubuk atau cairan, yang dibubuhkan ke dalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya

3.10

beton

campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan, membentuk massa yang padat, kuat, dan stabil

3.11

beton normal

beton yang mempunyai berat isi 2 200 kg/m³ sampai dengan 2 500 kg/m³

3.12

beton berat

beton yang mempunyai berat isi lebih besar dari 2 500 kg/m³

3.13

beton massa

beton yang mempunyai ukuran penampang komponen besar, sehingga memerlukan perlakuan untuk mengatasi panas hidrasi dari semen serta menjaga perubahan volume yang dapat menimbulkan keretakan

4 Data perencanaan campuran beton

Informasi yang diperlukan mengenai data dari bahan-bahan yang akan digunakan untuk penentuan proporsi campuran adalah sebagai berikut :

- Analisa ayak (gradasi) agregat halus dan agregat kasar;
- Bobot isi agregat;
- Berat jenis, penyerapan air, dan kadar air agregat;
- Air pencampur yang dibutuhkan beton berdasarkan pengalaman dengan menggunakan agregat yang ada;
- Hubungan antara kekuatan dan rasio air-semen atau rasio air terhadap semen+bahan bersifat semen lainnya;
- Berat jenis semen atau bahan bersifat semen lainnya bila digunakan.

5 Prosedur

5.1 Prosedur penentuan proporsi campuran

Prosedur pemilihan proporsi campuran yang dijelaskan dalam pasal ini mencakup untuk beton normal, beton massa dan beton berat, dengan didukung oleh data-data bahan dasar yang akan digunakan. Tambahan informasi dan contoh perhitungan untuk jenis-jenis beton ini, masing-masing diberikan dalam Lampiran B.

- 5.2** Spesifikasi/persyaratan beton yang akan diproduksi dapat didasarkan sebagian atau seluruh dari ketentuan berikut ini :
- Rasio air-semen maksimum atau rasio air-bahan bersifat semen;
 - Kadar semen minimum;
 - Kadar udara;
 - Slump;
 - Ukuran besar butir agregat maksimum;
 - Kekuatan tekan yang ditargetkan;
 - Persyaratan lain yang berkaitan dengan kekuatan yang berlebihan, bahan tambahan, semen tipe khusus, bahan bersifat semen lainnya, atau agregat.
- 5.3** Karakteristik dari beton yang dipersyaratkan dalam spesifikasi untuk menentukan proporsi campuran tiap m^3 beton, dilakukan secara berurutan sebagai berikut :

5.3.1 Langkah awal penentuan pemilihan campuran beton normal dan beton berat

5.3.1.1 Langkah 1 Pemilihan slump

Bila slump tidak disyaratkan, gunakan Tabel 1. Rentang nilai slump tersebut berlaku bila beton dipadatkan dengan digetar.

Tabel 1 Nilai slump yang dianjurkan untuk berbagai pekerjaan konstruksi (*)

Tipe konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum [†]	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah.	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

* Slump dapat ditambah bila digunakan bahan tambahan kimia, asalkan beton yang diberi bahan tambahan tersebut memiliki rasio air-semen atau rasio air-bahan bersifat semen yang sama atau lebih kecil dan tidak menunjukkan segregasi yang berarti atau blinding berlebihan.

[†] Slump boleh ditambah 25 mm untuk metode pemadatan selain dengan penggetaran

5.3.1.2 Langkah 2 Pemilihan ukuran besar butir agregat maksimum

Ukuran nominal agregat kasar maksimum dengan gradasi yang baik memiliki rongga udara yang lebih sedikit dibandingkan dengan agregat berukuran lebih kecil. Dengan demikian, beton dengan agregat berukuran lebih besar membutuhkan lebih sedikit adukan mortar per satuan isi beton.

Secara umum ukuran nominal agregat maksimum harus yang terbesar yang dapat diperoleh secara ekonomi dan tetap menurut dimensi komponen struktur/konstruksinya. Ukuran nominal agregat maksimum tidak boleh melebihi:

- 1/5 dari ukuran terkecil dimensi antara dinding-dinding cetakan/bekisting,
- 1/3 tebalnya pelat lantai,
- ¾ jarak minimum antar masing-masing batang tulangan, berkas-berkas tulangan, atau tendon tulangan pra-tegang (*pretensioning strands*).

Bila diinginkan beton berkekuatan tinggi, maka hasil terbaik dapat diperoleh dengan ukuran nominal agregat maksimum yang lebih kecil karena hal ini akan memberikan kekuatan lebih tinggi pada rasio air-semen yang diberikan.

5.3.1.3 Langkah 3 Perkiraan air pencampur dan kandungan udara

Banyaknya air untuk tiap satuan isi beton yang dibutuhkan agar menghasilkan slump tertentu tergantung pada :

- Ukuran nominal maksimum, bentuk partikel dan gradasi agregat;
- Temperatur beton;
- Perkiraan kadar udara, dan;
- Penggunaan bahan tambahan kimia.

Slump tidak terlalu dipengaruhi oleh jumlah semen atau bahan bersifat semen lainnya dalam tingkat pemakaian yang normal, penggunaan sedikit bahan tambahan mineral yang halus dapat mengurangi kebutuhan air, perkiraan kebutuhan air untuk beberapa ukuran agregat dan target slump yang diinginkan lihat Tabel 2.

Perbedaan dalam kebutuhan air tidak selalu ditunjukkan dalam kekuatan mengingat adanya faktor-faktor penyimpangan lainnya yang juga terlibat. Agregat kasar yang bundar dan bersudut, keduanya bermutu baik dan memiliki gradasi yang sama, dapat diharapkan menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang kira-kira sama untuk jumlah semen yang sama, sekalipun ada perbedaan dalam rasio air-semen atau rasio air-(semen+pozolanik) yang dihasilkan dari kebutuhan air pencampur yang berbeda.

Bentuk partikel agregat tidak selalu merupakan indikator, baik lebih tinggi atau lebih rendah dari kekuatan rencana.

Tabel 2 Perkiraan kebutuhan air pencampur dan kadar udara untuk berbagai slump dan ukuran nominal agregat maksimum batu pecah

Air (kg/m ³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump (mm)	9,5 mm*	12,7 mm*	19 mm*	25 mm*	37,5 mm*	50 mm ^{†*}	75 mm ^{††}	150 mm ^{††}
Beton tanpa tambahan udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
> 175*	-	-	-	-	-	-	-	-
banyaknya udara dalam beton (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Beton dengan tambahan udara								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
> 175*	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat paparan sebagai berikut : ringan (%)								
	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5 ^{**††}	1,0 ^{**††}
sedang (%)	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5 ^{**††}	3,0 ^{**††}
berat ^{††} (%)	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5 ^{**††}	4,0 ^{**††}

* Banyaknya air pencampur untuk beton dengan tambahan udara didasarkan pada persyaratan kadar air total, khusus untuk "paparan sedang". Jumlah air ini digunakan untuk menghitung banyaknya semen dalam campuran percobaan pada suhu (20-25)°C. Agregat bentuk bulat umumnya membutuhkan lebih sedikit air sekitar 18 kg bagi beton tanpa tambahan udara dan sekitar 15 kg untuk beton dengan tambahan udara. Penggunaan bahan tambahan kimia, ASTM C 494, dapat pula mengurangi air pencampur sebanyak 5% atau lebih. Volume bahan tambahan cair dimasukkan

sebagai bagian dari jumlah seluruh air pencampur. Slump dengan nilai lebih dari 175 mm hanya dapat dicapai dengan penggunaan bahan kimia tambahan untuk beton dengan ukuran nominal agregat maksimum 25 mm.

[†]Nilai slump untuk beton dengan agregat lebih besar dari 40 mm didasarkan dari uji slump setelah partikel agregat lebih besar dari 40 mm dikeluarkan dengan cara disaring basah.

[‡]Jumlah air pencampur ini digunakan untuk menghitung campuran percobaan bila menggunakan agregat yang berukuran maksimum 75 mm atau 150 mm. Ini adalah nilai rata-rata untuk agregat dengan bentuk yang baik dan dengan susunan besar butir yang baik pula dari kasar hingga halus.

^{**} Untuk beton dengan ukuran agregat lebih besar dari 40 mm sebelum dilakukan uji kadar udara harus disaring basah pada 40 mm, persen udara yang diharapkan pada bahan-bahan yang lebih kecil dari 40 mm termasuk nilai-nilai dalam kolom 40 mm. Namun demikian, perhitungan proporsi awal harus memasukkan kadar udara dalam persen dari keseluruhannya.

^{††} Bila beton menggunakan agregat berukuran besar dan faktor air-semen rendah, tambahan udara tidak akan mengurangi kekuatannya. Dalam banyak kasus, jika air pencampur dikurangi cukup banyak untuk memperbaiki rasio air-semen maka ditambahkan udara untuk mengimbangi pengaruh berkurangnya kekuatan beton. Oleh karena itu, pada umumnya, untuk agregat-agregat berukuran nominal maksimum yang besar, kadar udara yang disarankan untuk pengaruh kondisi lingkungan yang berat haruslah dipertimbangkan, sekalipun kemungkinan pemaparannya terhadap kelembaban atau pembekuan adalah kecil atau sama sekali tidak terjadi.

^{††} Nilai-nilai ini didasarkan pada kriteria bahwa diperlukan 9 % udara untuk fase mortar dari beton. Bila volume mortar berbeda dari yang dianjurkan dalam standar ini, mungkin diperlukan untuk menghitung kadar udara dengan memakai angka 9 % dari volume mortar sebenarnya.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan perkiraan kebutuhan air, diantaranya adalah :

Bahan tambahan kimia

Bahan tambahan kimia dipakai untuk mengubah sifat-sifat beton, membuat beton lebih mudah dikerjakan; awet; lebih ekonomis; menambah atau mengurangi waktu pengikatan; mempercepat kekuatan dan atau mengontrol panas hidrasi. Bahan tambahan kimia digunakan setelah dilakukan evaluasi secara cermat.

Bahan tambahan/aditif untuk mengurangi kadar air pencampur dan atau mengatur waktu pengikatan yang memenuhi syarat ASTM C 494, bila digunakan dengan atau tanpa campuran bahan tambahan kimia lainnya, akan banyak mengurangi jumlah air per satuan isi beton. Penggunaan sedikit bahan tambahan kimia, untuk slump yang sama, akan memperbaiki sifat beton seperti sifat pengerjaan, penyelesaian akhir (*finishing*), pemompaan, keawetan, dan kuat tekan serta kuat lenturnya.

Penambahan bahan tambahan kimia cair dalam jumlah banyak harus dianggap sebagai bagian dari air pencampur. Nilai slump pada Tabel 1 dapat ditambah bila digunakan bahan tambahan kimia selama beton dengan bahan tambahan kimia tadi memiliki rasio air-semen yang sama atau lebih kecil dan tidak menunjukkan potensi segregasi dan blinding berlebihan.

Tingkat pemaparan ringan

Tingkat pemaparan beton ini meliputi kondisi di dalam dan di luar bangunan di lingkungan iklim di mana beton tidak akan mengalami pembekuan dan tidak akan menerima zat-zat atau bahan-bahan pencair es. Bila penambahan udara diperlukan untuk mendapatkan sifat-sifat beton selain keawetannya seperti misalnya untuk memperbaiki sifat pengerjaan atau pengikatannya atau bagi beton dengan faktor semen yang rendah untuk memperbaiki kekuatannya, dapat dipakai kadar udara yang lebih rendah dari yang dibutuhkan untuk menambah keawetan beton.

Tingkat paparan sedang

Tingkat paparan beton di daerah beriklim dingin yang dapat membuat air membeku, namun beton tidak akan terpapar uap air atau air bebas secara terus menerus untuk jangka waktu lama sebelum terjadinya pembekuan dan juga tidak akan terpapar pada bahan-bahan pencair (*deicing agents*) atau bahan-bahan kimia agresif lainnya.

Beberapa contoh termasuk : balok-balok di luar bangunan; kolom; dinding; kusen; atau panel yang tidak kontak langsung dengan tanah dan ditempatkan sedemikian rupa sehingga tidak mengalami kontak langsung dengan garam-garam cair.

Tingkat paparan berat

Tingkat paparan berat adalah beton yang terpapar pada bahan-bahan kimia cair atau bahan-bahan kimia agresif lainnya atau beton yang secara langsung terendam uap air atau air bebas sebelum terjadinya pembekuan. Misalnya pelapis lantai; lantai jembatan; gili-gili (*curbs*); talang (*gutters*); batas tepi jalan (*sidewalks*); dinding saluran/kanal; atau tangki air di luar bangunan atau sumur.

Penambahan udara dalam jumlah yang biasa digunakan pada beton dengan syarat kekuatan sekitar 35 MPa tidak mungkin karena setiap penambahan udara akan mengurangi kekuatan maksimum yang dapat dicapai dengan kombinasi beberapa bahan.

Bila komponen beton tidak akan menjadi basah secara terus menerus dan tidak akan terpapar pada garam-garam cair, nilai kadar udara yang lebih rendah seperti tersebut dalam Tabel 2 untuk paparan tingkat sedang sudah cukup baik, sekalipun beton terpapar pada temperatur pembekuan dan pencairan.

Untuk kondisi paparan dimana beton mungkin sudah jenuh sebelum terjadinya pembekuan, penggunaan tambahan udara tidak boleh diabaikan demi pencapaian kekuatan. Dalam beberapa pemakaian tertentu, ditemukan kadar udara yang lebih rendah daripada yang dipersyaratkan, padahal telah digunakan bahan tambahan kimia dalam jumlah yang umumnya memberikan hasil memuaskan. Hal ini akan terjadi jika dipakai kadar semen yang sangat tinggi. Pencapaian keawetan yang diharapkan dapat ditunjukkan dengan pemeriksaan rongga udara di dalam pasta dari beton yang telah mengeras.

Apabila dilakukan campuran percobaan untuk membuktikan hubungan-hubungan kekuatan atau menilai kembali kekuatan dari sebuah campuran, harus digunakan air pencampur dan kadar udara yang terkecil. Kadar udara harus yang maksimum yang diijinkan dan beton harus diukur untuk mencapai slump tertinggi yang diijinkan. Bila beton di lapangan memiliki kadar air dan atau kadar udara yang lebih rendah, maka proporsi bahan-bahan beton harus disesuaikan untuk menghasilkan beton yang diinginkan.

5.3.1.4 Langkah 4 Pemilihan rasio air-semen atau rasio air-bahan bersifat semen

Rasio w/c atau $w/(c+p)$ yang diperlukan tidak hanya ditentukan oleh syarat kekuatan, tetapi juga oleh beberapa faktor diantaranya oleh keawetan. Oleh karena agregat, semen, dan bahan bersifat semen yang berbeda-beda umumnya menghasilkan kekuatan yang berbeda untuk rasio w/c atau $w/(c+p)$ yang sama, sangat dibutuhkan adanya hubungan antara kekuatan dengan w/c atau $w/(c+p)$ dari bahan-bahan yang sebenarnya akan dipakai. Bila data ini tidak ada, maka perkiraan dan nilai lama dari beton yang menggunakan semen Portland tipe I, diberikan dalam Tabel 3. Dengan bahan-bahan tertentu, nilai w/c atau $w/(c+p)$ akan memberikan kekuatan seperti dalam Tabel 3, berdasarkan hasil pengujian benda uji umur 28 hari yang dipelihara dalam kondisi baku di laboratorium. Kekuatan rata-rata harus melebihi kekuatan yang disyaratkan dengan perbedaan yang cukup tinggi untuk menggunakan hasil-hasil uji yang rendah dalam rentang batas tertentu.

Tabel 3 Hubungan antara rasio air-semen (w/c) atau rasio air-bahan bersifat semen {w/(c+p)} dan kekuatan beton

Kekuatan beton umur 28 hari, MPa*	Rasio air-semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

* Nilai-nilai ini adalah perkiraan rata-rata kekuatan beton yang mengandung tidak lebih dari 2 % udara untuk beton tanpa tambahan udara dan 6 % kadar udara total untuk beton dengan tambahan udara. Untuk **w/c** atau **w/(c+p)** yang tetap, kekuatan beton berkurang bila kadar udara bertambah. Nilai kekuatan umur 28 hari adalah nilai lama dan dapat berubah bila digunakan berbagai bahan bersifat semen. Nilai kekuatan ini didasarkan pada benda uji silinder (150 x 300) mm yang dipelihara dalam kondisi lembab pada temperatur $(23 \pm 1,7) ^\circ\text{C}$ sebelum diuji. Hubungan yang ditunjukkan dalam Tabel 3 adalah untuk ukuran nominal agregat maksimum (19 - 25) mm. Untuk agregat yang telah ditentukan, **w/c** atau **w/(c+p)** tertentu, kekuatan akan bertambah bila ukuran nominal maksimum agregat berkurang, lihat subpasal 1.4 dan subpasal 8.3.2.

Untuk tingkat paparan yang sangat buruk, **w/c** atau **w/(c+p)** harus dipertahankan tetap rendah sekalipun persyaratan kekuatan mungkin dicapai dengan nilai lebih tinggi. Tabel 4 memberikan batasan nilai-nilainya.

Tabel 4 Maksimum rasio w/c atau rasio w/(c+p) yang diijinkan untuk beton tingkat paparan berat (severe exposures)*

Tipe struktur	Struktur selalu/seringkali basah dan terpapar pembekuan serta pencairan	Struktur yang dipengaruhi air laut atau sulfat
Bagian tipis (pegangan tangga, gili-gili, sills, talang, ornamental work) dan bagian selimut beton kurang dari 25 mm.	0,45	
Struktur lain	0,50	0,40 [‡] 0,45 [‡]

* bahan bersifat semen selain semen portland harus sesuai dengan SNI 15-0302-2004 .

[‡]Jika digunakan semen Portland tahan sulfat (Tipe II atau Tipe V SNI 15-2049-2004), atau semen Portland Pozzolan tipe IPK (SNI 15-0302-2004), rasio **w/c** atau rasio **w/(c+p)** yang diijinkan dapat dinaikkan sebanyak 0,05.

Bila beton menggunakan bahan-bahan bersifat pozolan (*pozzolanic materials*), seperti pozolan alam, abu terbang, serbuk tanur tinggi (GGBF), serbuk silika, maka rasio air-semen ditambah bahan pengikat lainnya (dalam berat) harus digunakan sebagai pengganti rasio air-

semen (dalam berat) tradisional. Ada 2 (dua) pendekatan yang biasanya dipakai untuk menentukan rasio $w/(c+p)$ yang dianggap ekuivalen dengan rasio air-semen w/c

- Berat ekuivalen dari bahan-bahan bersifat pozolan, atau
- Isi atau volume absolut dari bahan-bahan pozolanik dalam campuran.

Untuk pendekatan pertama, kesamaan berat, berat total dari bahan-bahan pozolanik tetap sama, (artinya, $w/(c+p) = w/c$); tetapi volume absolut total dari semen ditambah bahan pozolanik biasanya sedikit lebih besar.

Pendekatan kedua, dengan menggunakan persamaan 2, rasio $w/(c+p)$ dalam berat dihitung dengan memakai hubungan volume absolut yang sama, namun akan mengurangi berat total bahan pozolanik, karena berat jenis dari bahan-bahan pozolanik umumnya lebih kecil dari berat jenis semen.

Persamaan untuk mengubah target rasio air-semen (w/c) ke dalam rasio air-semen plus bahan pozolanik $w/(c+p)$ dengan (1) ekuivalensi berat atau (2) ekuivalensi volume, yaitu sebagai berikut :

Ekuivalensi berat

$$\frac{w}{c+p} \text{ ratio berat, Ekuivalensi berat} = \frac{w}{c} \dots\dots\dots(1)$$

dengan pengertian :

$$\frac{w}{c+p} = \text{berat air dibagi berat semen + bahan pozolanik}$$

$$\frac{w}{c} = \text{target rasio air-semen dalam berat}$$

Apabila dipakai pendekatan ekuivalensi berat, maka persentase atau fraksi dari bahan pozolanik yang dipakai dalam bahan-bahan bersifat semen dinyatakan dalam berat. Dengan demikian F_w persentase bahan pozolanik dalam berat dari berat total semen ditambah bahan pozolanik, dinyatakan dalam faktor desimal adalah :

$$F_w = \frac{p}{c+p} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

F_w adalah persentase bahan pozolanik dalam berat yang dinyatakan dalam faktor desimal

p adalah berat bahan pozolanik

c adalah berat semen

CATATAN Jika yang diketahui adalah faktor persentase bahan pozolanik dengan volume absolut F_v , maka persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

$$F_w = \frac{1}{1 + \left(\frac{3,15}{G_p} \right) \left(\frac{1}{F_v} - 1 \right)} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

F_v adalah persentase bahan pozolanik dalam volume absolut dari seluruh volume absolut campuran semen ditambah bahan pozolanik yang dinyatakan dalam faktor desimal

G_p adalah berat jenis bahan pozolanik

3,15 adalah berat jenis semen (gunakan nilai sebenarnya, bila ternyata berbeda)

Contoh perhitungan Ekuivalensi berat

Jika diperlukan rasio air-semen 0,60 dan pozolan abu terbang yang digunakan sebanyak 20% dari berat seluruh bahan pengikat dalam campuran ($F_w = 0,20$), maka rasio air-semen terhadap rasio air-semen plus bahan pozolanik yang diperlukan berdasarkan berat ekuivalen adalah :

$$\frac{w}{c+p} = \frac{w}{c} = 0,60, \text{ dan}$$

$$F_w = \frac{p}{c+p} = 0,20$$

Dengan perkiraan kebutuhan air pencampur sebesar $160,19 \text{ kg/m}^3$, maka berat semen ditambah pozolan = $160,19 : 0,60 = 266,98 \text{ kg}$; berat pozolan = $(0,20) \cdot 266,98 = 53,40 \text{ kg}$. Dengan demikian, berat semen = $266,98 - 53,40 = 213,58 \text{ kg}$.

Bila yang disyaratkan adalah 20% volume absolut semen plus pozolan ($F_v = 0,20$) dan bukan 20% berat abu terbang, maka faktor berat yang sesuai dihitung berikut ini untuk abu terbang dengan anggapan berat jenis = 2,40 :

$$F_w = \frac{1}{1 + \left(\frac{3,15}{G_p} \right) \left(\frac{1}{F_v} - 1 \right)} = \frac{1}{1 + \left(\frac{3,15}{2,40} \right) \left(\frac{1}{0,20} - 1 \right)} = \frac{1}{1 + (1,31)(4)} = \frac{1}{1 + 5,24} = \frac{1}{6,24} = 0,16$$

Dalam hal ini, 20% volume absolut adalah 16% berat, dan berat pozolan dalam campuran menjadi $(0,16) \cdot (266,98) = 42,72 \text{ kg}$, maka berat semen menjadi $266,98 - 42,72 = 224,26 \text{ kg}$.

Ekuivalensi volume absolut

$$\frac{w}{c+p} \text{ rasio berat, ekuivalensi volume absolut} = \frac{3,15 \cdot \frac{w}{c}}{3,15(1 - F_v) + G_p(F_v)} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

$\frac{w}{c+p}$ adalah berat air dibagi berat semen + bahan pozolan

$\frac{w}{c}$ adalah rasio air-semen dalam berat

3,15 adalah berat jenis semen Portland (bila berbeda, gunakan nilai yang sebenarnya)

F_v adalah persentase pozolan dalam volume absolut terhadap seluruh volume absolut dari semen + pozolan, dinyatakan dalam faktor desimal

CATATAN Bila diketahui presentase pozolan dalam berat, F_w , maka persamaan tersebut dapat diubah ke dalam F_v sebagai berikut :

$$F_v = \frac{1}{1 + \left(\frac{G_p}{3,15} \right) \left(\frac{1}{F_w} - 1 \right)} \dots\dots\dots(5)$$

Contoh perhitungan Ekuivalensi volume absolut

Penggunaan data yang sama dengan contoh 8.3.4.1 tetapi dengan syarat bahwa ekuivalensi rasio air-(semen+pozolan) berdasarkan volume absolut, dalam campuran, rasio volume air terhadap volume bahan yang bersifat semen sama bila yang berubah hanya dari bahan semen ke semen+pozolan. Rasio air-semen yang diperlukan 0,60, dan asumsi awal abu terbang diinginkan sebanyak 20% volume absolut ($F_v = 0,20$). Berat jenis abu terbang dalam contoh ini = 2,40

$$\frac{w}{c+p} = \frac{3,15 \left(\frac{w}{c} \right)}{3,15(1-F_v) + G_p(F_v)} = \frac{(3,15)(0,60)}{(3,15)(0,80) + (2,40)(0,20)} = \frac{1,89}{2,52 + 0,48} = \frac{1,89}{3,00} = 0,63$$

Jadi, target rasio untuk tetap mempertahankan ekuivalensi volume absolut adalah $w/(c+p) = 0,63$. Jika air pencampur = 160,19 kg/m³, maka berat semen plus pozolan adalah 160,19 : 0,63 = 254,27 kg; dan karena faktor persentase berat yang sesuai untuk $F_v = 0,20$ adalah $F_w = 0,16$ sebagaimana dihitung dalam contoh 8.3.4.1, maka berat abu terbang yang harus digunakan = (0,16) . (254,27) = 40,68 kg dan berat semen = 254,27 – 40,68 = 213,59 kg. prosedur ekuivalensi volume memberikan berat bahan bersifat semen dalam jumlah yang lebih rendah. Pemeriksaan volume absolut sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Abu terbang} &= \frac{40,68}{(2,40)(1000)} = 0,017 \text{ m}^3 \\ \text{Semen} &= \frac{213,59}{(3,15)(1000)} = 0,068 \text{ m}^3 \\ \text{Total} &= 0,017 + 0,068 = 0,085 \text{ m}^3 \\ \text{Persen pozolan dalam volume} &= \frac{0,017}{0,085} \cdot 100 = 20 \text{ persen} \end{aligned}$$

Jika persentase abu terbang 20% volume ($F_v = 0,20$), sedangkan yang disyaratkan adalah 20% beratnya ($F_w = 0,20$), maka dapat diubah ke dalam F_v dengan menggunakan $G_p = 2,40$, yaitu :

$$F_v = \frac{1}{1 + \left(\frac{G_p}{3,15} \right) \left(\frac{1}{F_w} - 1 \right)} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,40}{3,15} \right) \left(\frac{1}{0,2} - 1 \right)} = \frac{1}{1 + (0,762)(4)} = \frac{1}{4,048} = 0,247$$

Dalam hal ini, 20 % berat hampir sama dengan 25 % volume absolut. Rasio $w/(c+p)$ dalam volume harus dihitung kembali sebagai berikut :

$$\frac{w}{c+p} = \frac{3,15 \left(\frac{w}{c} \right)}{3,15(1-F_v) + G_p(F_v)} = \frac{(3,15)(0,60)}{(3,15)(0,75) + (2,40)(0,25)} = \frac{1,89}{2,36 + 0,60} = \frac{1,89}{2,96} = 0,64$$

Jumlah bahan bersifat semen menjadi 160,19 : 0,64 = 250,30 kg. Dari berat ini 20% ($F_w = 0,20$) adalah abu terbang; maka berat abu terbang adalah (250,30) . (0,20) = 50,06 kg dan berat semen adalah 250,30 – 50,06 = 200,24 kg.

5.3.1.5 Langkah 5 Perhitungan kadar semen

Banyaknya semen untuk tiap satuan volume beton diperoleh dari penentuan dalam contoh-contoh di langkah 3 dan langkah 4 tersebut di atas. Kebutuhan semen adalah sama dengan perkiraan kadar air pencampur (langkah 3) dibagi rasio air-semen (langkah 4). Namun demikian, bila persyaratannya memasukkan pembatasan pemakaian semen minimum secara terpisah selain dari persyaratan kekuatan dan keawetan, campuran haruslah didasarkan pada kriteria apapun yang mengarah pada pemakaian semen yang lebih banyak.

Penggunaan bahan pozolanik atau bahan tambahan kimia akan mempengaruhi sifat-sifat dari beton baik beton segar maupun beton yang telah mengeras.

5.3.1.6 Langkah 6 Perkiraan kadar agregat kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan bila sejumlah tertentu volume agregat (kondisi kering oven) dipakai untuk tiap satuan volume beton. Volume agregat kasar per satuan volume beton dapat dilihat pada Tabel 5. Atau dilakukan perhitungan secara analitis atau grafis .

5.3.1.6.1 Untuk beton dengan tingkat kemudahan pengerjaan yang lebih baik bila pengecoran dilakukan memakai pompa, atau bila beton harus ditempatkan ke dalam cetakan dengan rapatnya tulangan baja, dapat mengurangi kadar agregat kasar sebesar 10% dari nilai yang ada dalam Tabel 5. Namun demikian tetap harus berhati-hati untuk meyakinkan agar hasil-hasil uji slump, rasio air-semen atau rasio air-(semen+bahan bersifat semen), dan sifat-sifat kekuatan dari beton tetap memenuhi rekomendasi dalam 5.3.1.1 dan 5.3.1.4 serta memenuhi persyaratan spesifikasi proyek yang bersangkutan.

Tabel 5 Volume agregat kasar per satuan volume beton

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven* per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan [†] dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

*Volume berdasarkan berat kering oven sesuai SNI 03-4804-1998

[†]Lihat SNI 03-1968-1990 untuk menghitung modulus kehalusan.

Volume ini dipilih dari hubungan empiris untuk menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan untuk pekerjaan konstruksi secara umum. Untuk beton yang lebih kental (keleccakan rendah), seperti untuk konstruksi lapis lantai (pavement), nilainya dapat ditambah sekitar 10 %.

5.3.1.7 Langkah 7 Perkiraan kadar agregat halus

Setelah selesai melakukan langkah 6, seluruh komponen bahan dari beton sudah dapat diperkirakan, kecuali agregat halus. Prosedur yang dapat digunakan untuk menentukan agregat halus adalah metoda berdasarkan berat (5.3.1.7.1) atau metoda berdasarkan volume absolut (5.3.1.7.2).

5.3.1.7.1 Bila berat per satuan volume beton dapat dianggap atau diperkirakan dari pengalaman, maka berat agregat halus yang dibutuhkan adalah perbedaan dari berat beton segar dan berat total dari bahan-bahan lainnya. Umumnya, berat satuan dari beton telah diketahui dengan ketelitian cukup dari pengalaman sebelumnya yang memakai bahan-bahan yang sama.

Dalam hal informasi semacam ini tidak diperoleh, Tabel 6 dapat digunakan untuk perkiraan awal. Sekalipun bila perkiraan berat beton per m³ tadi adalah perkiraan cukup kasar, proporsi campuran akan cukup tepat untuk memungkinkan penyesuaian secara mudah berdasarkan campuran percobaan seperti yang akan ditunjukkan dalam contoh-contoh.

Tabel 6 Perkiraan awal berat beton segar

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m ³ *	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

*Nilai yang dihitung memakai rumus 1 untuk beton dengan jumlah semen cukup banyak (330 kg semen per m³), dan dengan slump sedang dan berat jenis agregat 2,7. Untuk slump sebesar 75 mm sampai dengan 100 mm menurut Tabel 2. Bila informasi yang diperlukan cukup, maka berat perkiraan dapat diperhalus lagi dengan cara sebagai berikut : untuk setiap perbedaan air pencampur 5 kg dengan slump sebesar 75 mm sampai dengan 100 mm (Tabel 2), koreksi berat tiap m³ sebanyak 8 kg pada arah berlawanan; untuk setiap perbedaan 20 kg kadar semen dari 330 kg, koreksi berat per m³ sebesar 3 kg dalam arah bersamaan; untuk setiap perbedaan berat jenis agregat 0,1 terhadap nilai 2,7, koreksi berat beton sebesar 60 kg dalam arah yang sama. Untuk beton dengan tambahan udara, gunakan Tabel 2. Berat dapat ditambah 1 % untuk setiap 1 % berkurangnya kadar udara dari jumlah tersebut.

Bila diinginkan perhitungan berat beton per m³, secara teoritis rumus berikut ini dapat digunakan

$$U = 10G_a(100 - A) + c(1 - G_a/G_c) - w(G_a - 1) \quad \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

U adalah berat beton segar, kg/m³

G_a adalah berat jenis rata-rata gabungan agregat halus dan kasar, kering permukaan jenuh (SSD adalah *saturated surface dry*)

G_c adalah berat jenis semen (umumnya = 3,15)

A adalah kadar udara (%)

w adalah syarat banyaknya air pencampur, kg/m³

c adalah syarat banyaknya semen, kg/m³

5.3.1.7.2 Untuk mendapatkan volume agregat halus yang disyaratkan, satuan volume beton dikurangi jumlah seluruh volume dari bahan-bahan yang diketahui, yaitu air, udara, bahan yang bersifat semen, dan agregat kasar. Volume beton adalah sama dengan berat beton dibagi densitas bahan.

5.3.1.8 Langkah ke 8 Penyesuaian terhadap kelembaban agregat

Jumlah agregat yang harus ditimbang untuk beton harus memperhitungkan banyaknya kandungan air yang terserap dalam agregat. Umumnya, agregat ada dalam keadaan lembab, sehingga berat keringnya harus ditambah sebanyak persentase air yang dikandungnya baik yang terserap maupun yang ada dipermukaan. Banyaknya air pencampuran yang harus ditambahkan ke dalam campuran haruslah dikurangi sebanyak air bebas yang didapat dari agregat, yaitu jumlah air dikurangi air terserap.

5.3.1.8.1 Dalam beberapa hal mungkin diperlukan untuk mencampur agregat dalam keadaan kering. Jika penyerapan air (biasanya setelah direndam selama satu hari) lebih besar dari 1%, dan bila struktur pori-pori dalam butiran agregat sedemikian rupa hingga bagian yang cukup berarti dari penyerapan berlangsung dalam waktu sebelum terjadinya pengikatan awal, ada kemungkinan terjadi kehilangan slump yang lebih besar sebagai akibat berkurangnya air pencampur. Juga rasio air-semen akan berkurang akibat adanya air yang terserap sebelum terjadinya pengikatan, dengan anggapan bahwa partikel semen tidak terbawa masuk ke dalam agregat.

5.3.1.8.2 Menurut SNI 03-2493-1991, prosedur pembuatan campuran percobaan di laboratorium mengizinkan mencampur agregat dalam kondisi kering udara, bila penyerapannya kurang dari 1,0 % dengan kemungkinan diserapnya air dari beton yang belum menjalani proses pengikatan (*unset concrete*). Disarankan oleh SNI 03-2493-1991 bahwa jumlah yang diserap dapat dianggap sebesar 80 % dari perbedaan antara jumlah air sebenarnya yang terdapat dalam pori-pori agregat (kondisi kering udara) dan penyerapan jumlah nominal 24 jam yang ditentukan dalam SNI 03-1969-1990 atau SNI 03-1970-1990.

Untuk agregat dengan penyerapan lebih besar, SNI 03-2493-1991 mensyaratkan pengondisian sebelumnya untuk memenuhi syarat penyerapan dengan pengaturan berat agregat yang didasarkan pada jumlah kadar air dan pengaturan termasuk air permukaan sebagai bagian dari air pencampur yang disyaratkan.

5.3.1.9 Pengaturan campuran percobaan

Proporsi hasil perhitungan harus diperiksa melalui pembuatan campuran percobaan yang dipersiapkan dan diuji menurut SNI 03-2493-1991 atau sebanyak campuran di lapangan. Pemakaian air harus cukup untuk menghasilkan slump yang disyaratkan sewaktu memilih proporsi percobaan.

Beton harus diperiksa berat isi dan jumlah yang dihasilkan / yield (SNI 03-1973-1990) dan kadar udara (SNI 03-3418-1994). Juga harus diperiksa sifat pengerjaannya, bebas dari segregasi, dan sifat penyelesaiannya (*finishing*-nya). Pengaturan yang sesuai harus pula dilakukan untuk campuran-campuran sebagai berikut.

5.3.1.9.1 Kebutuhan air pencampur untuk menghasilkan nilai slump yang sama seperti campuran percobaan adalah setara dengan jumlah bersih air pencampur dibagi dengan jumlah beton yang dihasilkan dari campuran percobaan dalam m^3 . Jika nilai slump campuran percobaan tidak sesuai, tambahkan atau kurangi jumlah kandungan air sebanyak $2 \text{ kg}/m^3$ untuk setiap pertambahan atau pengurangan nilai slump sebesar 10 mm.

5.3.1.9.2 Langkah penyesuaian karena jumlah kandungan udara yang tidak tepat pada beton adalah dengan penambahan atau pengurangan jumlah kandungan air pencampur dari sub pasal 5.3.1.9.1 sebanyak $3 \text{ kg}/m^3$ untuk setiap 1% penambahan atau pengurangan kandungan udara.

5.3.1.9.3 Perkiraan kembali berat beton segar untuk penyesuaian setara dengan berat beton segar dalam kg/m^3 dari campuran percobaan, dikurangi atau ditambahkan oleh persentase perubahan kadar air campuran percobaan yang telah disesuaikan.

5.3.1.9.4 Hitunglah campuran percobaan yang baru ini dimulai dengan langkah 4 (5.3.1.4), jika perlu ubah volume agregat kasar dari Tabel 2, untuk menghasilkan sifat pengerjaan yang cocok.

5.3.2 Langkah awal pemilihan proporsi campuran beton massa

Dengan ditentukannya sifat dari bahan-bahan dan diketahuinya sifat dari beton, maka prosedur dalam penyusunan campuran beton massa mengikuti langsung rangkaian langkah-langkah yang diuraikan dalam 5.3.2.1 sampai 5.3.2.12. Susunan campuran harus ditentukan untuk temperatur pengecoran maksimum yang ditetapkan untuk mengantisipasi pengaruh dari kecepatan hidrasi semen dan panas yang ditimbulkan. Dengan menggunakan agregat berukuran nominal maksimum 75 mm atau 150 mm, prosedurnya agak berbeda, terutama kesukaran dalam menentukan kerapatan (densitas)/berat satuan kering udara dari agregat ukuran besar dengan metoda pemadatan kering menggunakan batang besi.

Untuk ukuran agregat nominal maksimum 37,5 mm atau lebih kecil, dapat digunakan metoda penyusunan campuran sebagai berikut:

5.3.2.1 Langkah ke-1 – Tentukan semua persyaratan yang berhubungan dengan sifat-sifat beton, termasuk :

- a. Ukuran nominal maksimum dari agregat yang dapat digunakan;
- b. Rentang nilai slump;
- c. Batasan Rasio Air-Semen;
- d. Temperatur pengecoran maksimum beton yang diharapkan;
- e. Rentang nilai kadar udara;
- f. Kekuatan yang disyaratkan dan umur pengujian;
- g. Kondisi pemaparan (*exposure*) yang diharapkan;
- h. Kecepatan Arus Air yang diharapkan, bila beton terkena air yang mengalir;
- i. Persyaratan Mutu Agregat;
- j. Sifat-sifat dari Semen dan/atau Pozolan.

5.3.2.2 Langkah ke-2 – Menentukan sifat-sifat yang penting dari bahan jika informasi yang dibutuhkan tidak tersedia.

Contoh bahan-bahan yang mewakili yang akan dipakai dalam beton harus diambil dalam jumlah yang cukup untuk pengujian pemeriksaan melalui campuran percobaan. Banyaknya bahan-bahan yang diperlukan untuk pengujian lengkap ditunjukkan dalam Tabel A.9. Jika pozolan tersedia dan lebih murah, atau disyaratkan dalam spesifikasi, jumlah persentase penggunaan seperti ditunjukkan dalam Tabel A.1.

Dari bahan yang direncanakan untuk pengujian, tentukan sifat-sifat seperti berikut ini:

- a. Analisa ayak dari semua agregat;
- b. Berat jenis agregat ;
- c. Penyerapan air agregat ;
- d. Bentuk partikel/butir dari agregat ;
- e. Modulus kehalusan agregat halus ;
- f. Berat jenis dari semen portland, dan/atau pozolan, dan semen campur ;
- g. Sifat-sifat fisik dan kimia dari semen portland, dan/atau pozolan, dan semen campur, termasuk panas hidrasi pada umur 7 hari.

5.3.2.3 Langkah ke-3 –Pemilihan Rasio Air-Semen.

Bila dalam dokumen proyek, rasio air-semen tidak ditentukan, pilih dari Tabel A.8 rasio air-semen maksimum yang diizinkan sesuai kondisi pemaparan tertentu. Bandingkan rasio air-

semen ini dengan rasio air-semen maksimum dari Tabel A.7 untuk mendapatkan kekuatan rata-rata termasuk kekuatan yang disyaratkan plus toleransi untuk antisipasi variasi dan penggunaan rasio air-semen yang terendah. Rasio air-semen harus dikurangi sebesar 0,02 untuk menjamin agar rasio air-semen maksimum tidak dilampaui pada waktu penyesuaian di lapangan. Rasio air-semen ini, bila dibutuhkan dapat diubah ke dalam rasio air-semen plus pozolan $\{A / (S+P)\}$ dengan menggunakan persamaan (1).

5.3.2.4 Langkah ke-4 – Memperkirakan kebutuhan air pencampur.

Perkirakan kebutuhan air pencampur dari Tabel 1 untuk slump dan ukuran agregat maksimum tertentu. Temperatur pengecoran awal mungkin berpengaruh terhadap kebutuhan air.

5.3.2.5 Langkah ke-5 – Pemilihan kadar udara.

Pilih kadar udara total dari campuran seperti ditunjukkan dalam Tabel A.6. Pengukuran kadar udara dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$A = \frac{a}{1 + r \{1 - a/100\}} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

A adalah kadar udara campuran total, dalam %
a adalah kadar udara dari fraksi agregat lebih kecil dari 37,5 mm, dalam %
r adalah rasio dari volume absolut dari fraksi agregat yang lebih besar dari 37,5 mm terhadap volume absolut dari semua bahan lainnya dalam campuran kecuali udara. Jika 100% dari agregat lewat ayakan 37,5 mm, maka $r = 0$ dan $A = a$.

5.3.2.6 Langkah ke-6 – Hitung berat semen yang disyaratkan sesuai dengan pilihan rasio air-semen (5.3.2.3) dan syarat air pencampur dari (5.3.2.4)

5.3.2.7 Langkah ke-7 – Tentukan volume absolut untuk bahan-bahan bersifat semen, kadar air, dan kadar udara dari data yang diperoleh dalam langkah-langkah ke-4, ke-5, dan ke-6. Hitung volume absolut untuk masing-masing semen dan pozolan.

$$V_{c+p} = \frac{C \text{ (m3)}}{G_c \text{ (1000)}} \dots\dots\dots (8a)$$

$$V_c = V_{c+p} (1 - F_v) \dots\dots\dots (8b)$$

$$V_p = V_{c+p} (F_v) \dots\dots\dots (8c)$$

Keterangan :

Cw adalah berat ekivalen semen portland seperti ditentukan dalam langkah ke-6.
Gc adalah berat jenis semen portland
Vc adalah volume semen (m^3)
Vp adalah volume pozolan (m^3)
Vc+p adalah volume semen dan pozolan (m^3)

Fv adalah persen pozolan terhadap volume absolut dari total volume absolut semen tambah pozolan, dinyatakan sebagai faktor desimal.

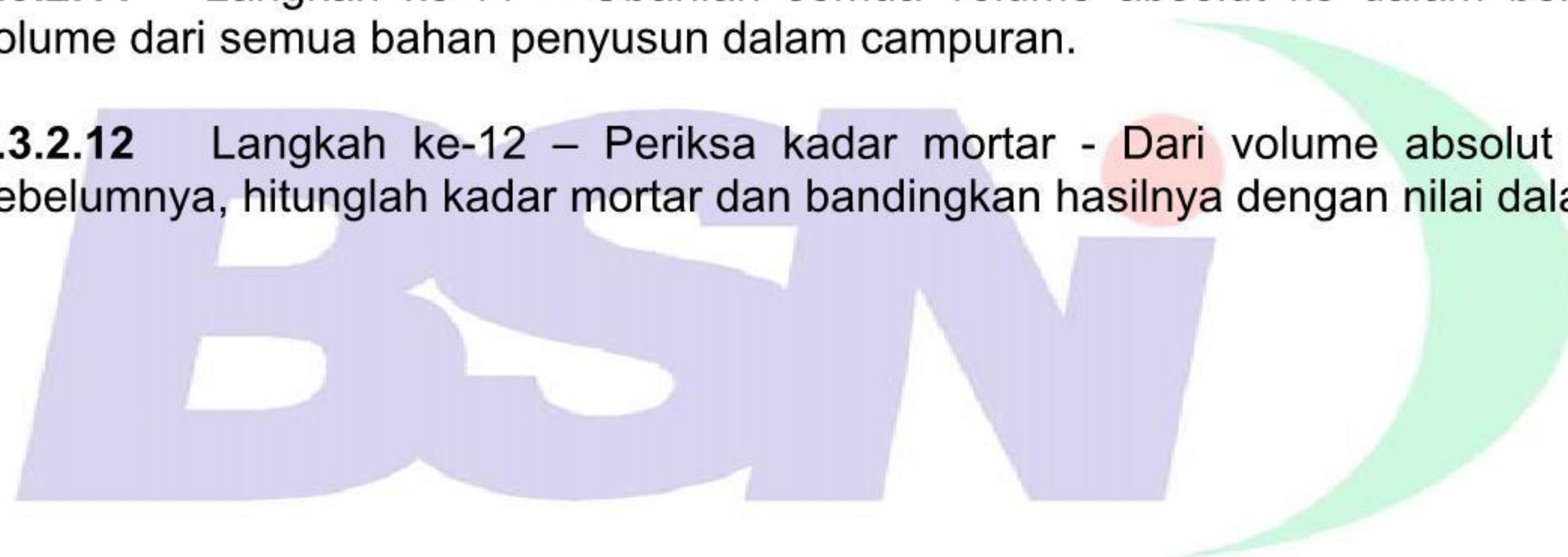
5.3.2.8 Langkah ke-8 – Pilih persentase agregat dari Tabel A.5 dan berdasarkan modulus kehalusan dari agregat halus serta ukuran nominal maksimum dan tipe dari agregat kasar, tentukan persentase agregat kasar terhadap volume total dari agregat.

5.3.2.9 Langkah ke-9 – Tentukan volume absolut total agregat dengan cara pengurangan dari unit volume (satu satuan) dikurangi dari masing-masing volume absolut bahan seperti dalam langkah ke-7. Berdasarkan banyaknya agregat kasar dari Langkah ke-8, tentukan volume absolut dari agregat kasar. Sisa dari volume absolut agregat kasar merupakan jumlah volume absolute agregat halus dalam campuran.

5.3.2.10 Langkah ke-10 – Lakukan kombinasi yang diinginkan dari beberapa kelompok ukuran agregat kasar. Dengan menggunakan gradasi dari masing – masing kelompok agregat kasar, gabungkan seluruh agregat kasar ke dalam gradasi yang seragam yang mendekati gradasi pada Tabel A.4 untuk ukuran maksimum 150 mm atau 75 mm. Persentase dari setiap kelompok ukuran harus dibulatkan mendekati persentase angka bulat terdekat.

5.3.2.11 Langkah ke-11 – Ubahlah semua volume absolut ke dalam berat per satuan volume dari semua bahan penyusun dalam campuran.

5.3.2.12 Langkah ke-12 – Periksa kadar mortar - Dari volume absolut yang dihitung sebelumnya, hitunglah kadar mortar dan bandingkan hasilnya dengan nilai dalam Tabel A.6.



Lampiran A (informatif) Ketentuan beton massa

A.1 Sifat-sifat beton massa

Dalam perencanaan sebuah proyek disyaratkan kekuatan tekan dengan faktor keamanan yang cukup untuk berbagai bagian dari struktur.

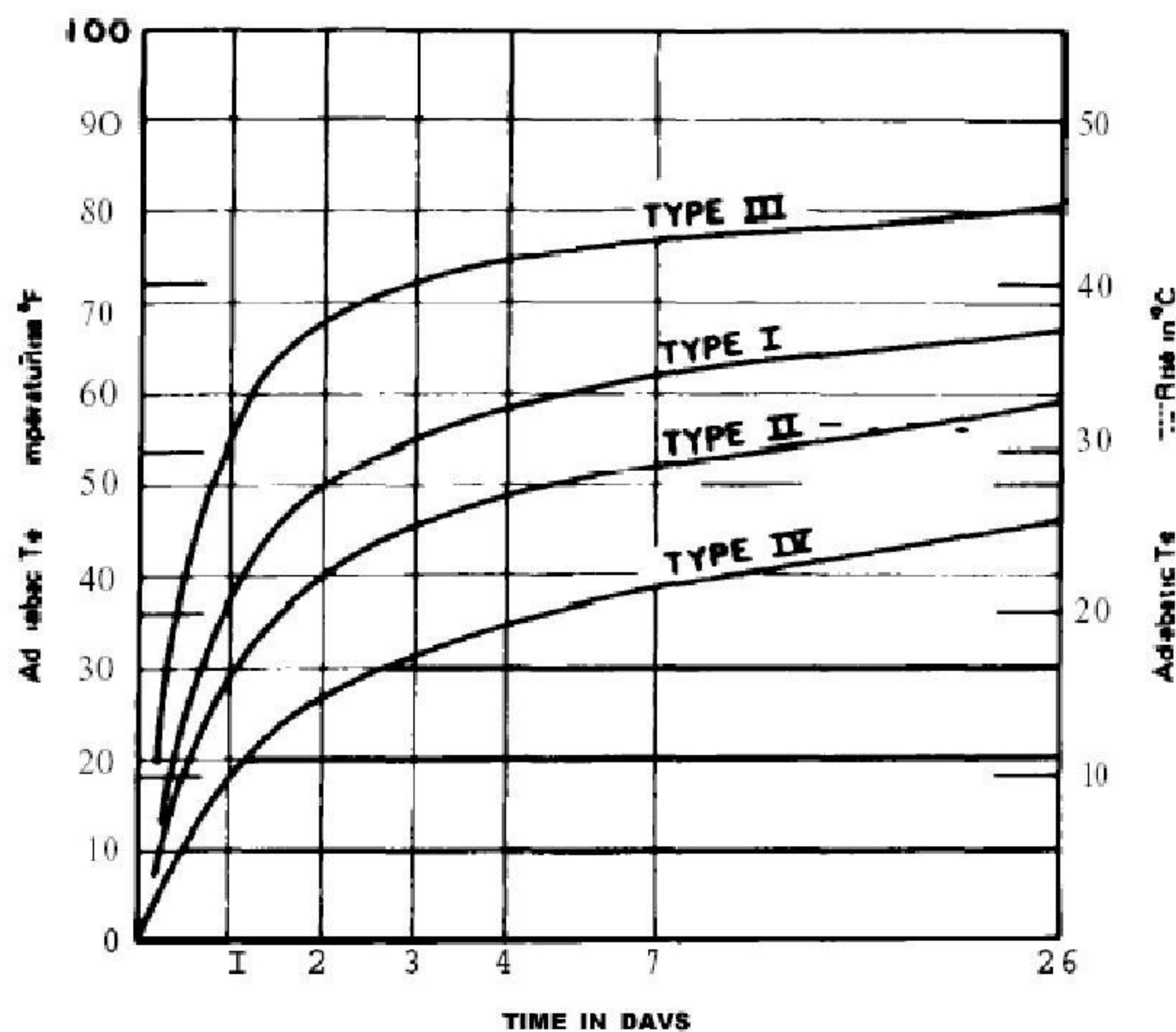
A.2 Sifat-sifat bahan yang berkaitan dengan timbulnya panas

A.2.1 Bahan yang bersifat semen

Bahan yang bersifat semen untuk pekerjaan beton massa terdiri dari semen Portland (SNI 15-2049-2004), semen Portland campur (SNI 15-3500-2004), semen Portland komposit (SNI 15-7064-2004) atau semen Portland pozolan (SNI 15-0302-2004).

A.2.1.1 Semen portland

Reaksi hidrasi dari semen Portland bersifat isotermis, yaitu panas akan keluar selama proses reaksi antara semen dan air. Banyaknya panas yang dikeluarkan tergantung pada komposisi kimia dari semen seperti ditunjukkan dalam Grafik 1 dan pada temperatur awalnya.



Gambar A.1 - Grafik temperatur beton massa yang mengandung 223 kg/cm³ semen

Tabel A.1 Hubungan antara kehalusan dan panas hidrasi dari berbagai tipe semen

Tipe semen	Kehalusan (cm ² /g) dengan alat Turbidimeter ASTM C 115	Panas hidrasi umur 28 hari (cal/g)
I	1790	87
II	1890	76
III	2030	105
IV	1910	60

Semen tipe II adalah semen yang paling banyak digunakan dalam pembuatan beton massa, karena panas hidrasinya yang sedang dan memiliki sifat-sifat yang diinginkan pada pekerjaan konstruksi. Bila digunakan bahan tambahan pozolanik, panas hidrasi yang dihasilkan sebanding dengan semen tipe IV.

Kehalusan semen juga berpengaruh pada kecepatan panas hidrasi, tetapi sedikit pengaruhnya pada awal timbulnya panas. Semen yang digiling halus akan menghasilkan panas lebih cepat pada umur awal dibandingkan dengan semen yang digiling kasar, sementara sifat lainnya tetap sama.

A.2.1.2 Semen portland campur

Semen Portland campur yang digunakan harus memenuhi persyaratan dalam SNI 15-3500-2004. Semen Portland campur dibuat dari campuran semen portland dan terak tanur tinggi atau pozolan. Pemakaian tanda IP-K (panas hidrasi sedang) dan P-K (panas hidrasi rendah) dapat digunakan untuk menunjukkan persyaratan sesuai aplikasinya.

A.2.1.3 Pozolan

Pozolan digunakan untuk mengantisipasi kenaikan temperatur beton dan pertimbangan ekonomi. Pozolan mencakup beberapa bahan seperti tanah diatomae, *opaline cherts*, tras, abu gunung api, tufa, batu apung, lempung bekah dan sebagainya, baik yang memerlukan atau tidak memerlukan proses pembakaran untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan. Abu terbang yang didapat dengan menggiling halus sisa pembakaran batu bara atau yang keluar dari cerobong pembakaran batu bara juga termasuk pozolan.

Penggunaan pozolan dalam beton massa merupakan penggantian sebagian dari semen yang umumnya mengeluarkan sedikit panas pada umur awal. Untuk berat yang sama penurunan panas pada umur awal dari pozolan dapat diperkirakan antara 15 – 50% dari yang dikeluarkan oleh semen.

Pengaruh pozolan pada sifat-sifat beton segar bervariasi tergantung pada tipe dan kehalusan; sifat-sifat senyawa kimia, mineralogi, dan sifat fisik; kehalusan dan komposisi dari semen; rasio dari semen terhadap pozolan; dan berat dari semen ditambah pozolan yang digunakan.

Penggunaan pozolan dalam campuran beton massa dapat mengurangi kebutuhan air sebesar 7 %, dan mengurangi kebutuhan bahan tambahan pembentuk udara hingga 20%. Mengingat bahan-bahan pozolan lainnya mungkin membutuhkan tambahan air sebanyak 15% dan lebih dari 60% bahan tambahan pembentuk udara, maka penting sekali untuk mengevaluasi pengaruh pozolan sebelum menentukan proporsi campuran.

Proporsi semen terhadap pozolan tergantung pada kekuatan yang diinginkan pada umur tertentu, pertimbangan panas, sifat fisik dan sifat kimia semen dan pozolan, dan pertimbangan harga dari masing-masing bahan. Proporsi dari berbagai tipe pozolan dan bahan lainnya yang dicampur dengan semen portland untuk mengurangi timbulnya panas ditunjukkan pada Tabel A.2.

Tabel A.2 Jumlah tertentu pozzolan dan bahan lain*

Bahan dan Kelas Bahan	Persentase Banyaknya Volume Absolut Bahan Pengikat	
	Beton terlindungi/tak terpapar (unexposed) [#]	Beton tak terlindungi/terpapar (exposed) ^{##}
Pozolan (ASTM C 618):		
Kelas F	35	25
Kelas N, semua tipe kecuali tanah diatomae tidak dibakar	30	20
Bahan-bahan lainnya:		
Terak atau semen alami	35	25

* Jumlah lainnya dari pozolan atau bahan lain dapat digunakan jika diterima setelah campuran diuji di laboratorium atau dari pengalaman terdahulu. Untuk Pozolan kelas C, belum ada jumlah tertentu.

Beton terlindungi/tak terpapar (unexposed) untuk struktur massif (misal: bendungan *gravity*; saluran air/*spillway*, *lock wall*, dan struktur massif yang sejenis).

Beton tak terlindungi/terpapar (*exposed*) untuk struktur-struktur massif (lihat catatan sebelumnya) dan beton struktur yang terpapar (misal; dinding penahan banjir/*flood walls*, pondasi bangunan, penutup lantai, dan struktur dengan ukuran sedang yang sama).

A.2.2 Agregat

Ukuran nominal maksimum dari agregat yang disyaratkan untuk berbagai kondisi pengecoran/penempatan ditunjukkan dalam Tabel A.3. Jika tersedia ukuran maksimum agregat sampai 150 mm harus dipertimbangkan terhadap nilai ekonomis, dan kemudahan pengerjaannya. Karena agregat yang besar memiliki luas permukaan yang lebih sedikit untuk dilapisi oleh pasta semen, maka berkurangnya jumlah semen dan air yang digunakan dapat diwujudkan dengan rasio air-semen yang sama. Hubungan ini ditunjukkan dalam Tabel 2. Gradasi agregat kasar ditunjukkan dalam Tabel A.4 dan gradasi agregat halus ditunjukkan didalam ASTM C 33.

A.2.2.1 Kombinasi agregat kasar

Sebelum menentukan ukuran agregat maksimum, masing-masing kelompok ukuran agregat harus dikombinasikan atau digabungkan untuk memperoleh suatu gradasi dengan maksimum kerapatan/densitas dan minimum rongga udara (*voids*). Hal ini akan menghasilkan beton dengan jumlah mortar atau pasta semen maksimum yang terkandung untuk kebutuhan pengecoran, kemudahan pengerjaan, dan penyelesaiannya. Metoda dengan berat satuan kering udara (*dry rodded*) biasanya dapat diterapkan untuk menggabungkan kelompok ukuran agregat hingga ukuran maksimum 37,5 mm; namun cara ini tidak praktis untuk menggabungkan kelompok dengan ukuran maksimum 75 mm atau 150 mm. Persamaan (A-1) memberikan perkiraan persen bahan yang lewat masing-masing ukuran saringan yang diperlukan untuk tipe agregat tertentu¹.

CATATAN 1 Persamaan ini dikembangkan dari pekerjaan oleh Fuller dan Thompson tentang karakteristik penyusunan bahan berbentuk butiran. Bentuk kurva parabola yang dikembangkan dari persamaan tersebut mendekati gradasi yang ideal untuk densitas maksimum dan rongga udara minimum berdasarkan bentuk partikel dari agregat. Penggabungan masing-masing kelompok ukuran agregat kasar agar mendekati kurva ideal merupakan prosedur yang disarankan untuk digunakan dengan ukuran nominal agregat maksimum 150 mm dan 75 mm untuk campuran agregat dengan metoda berat satuan kering udara.

$$P = \frac{d^x - 0,1875^x}{D^x - 0,1875^x} (100) \dots\dots\dots (A-1)$$

Keterangan :

P adalah jumlah kumulatif yang lewat ayakan ukuran **d**;

d adalah ukuran ayakan, (mm)

D adalah ukuran nominal agregat maksimum, (mm)

x adalah koefisien 0,5 untuk agregat bulat, dan 0,8 untuk agregat batu pecah

Berdasarkan pada persamaan di atas, kombinasi gradasi agregat dengan ukuran 150 dan 75 mm, batu pecah dan bulat, adalah ditunjukkan pada Tabel A.4. Gradasi yang dapat diterima untuk agregat yang sebagian bulat atau sebagian batu pecah dapat diinterpolasikan dengan menggunakan Tabel A.4.

Penggunaan gradasi dari masing-masing kelompok ukuran, 150 mm ke dalam 75 mm, 75 mm ke dalam 37,5 mm, 37,5 mm ke 19 mm, dan 19 mm ke 4,75 mm, diperlukan metoda uji-coba (*trial and error method*) dalam penentuan pilihan persentase masing-masing kelompok ukuran untuk menghasilkan gradasi gabungan dari seluruh kelompok ukuran yang mendekati gradasi keseluruhan yang ideal.

Pemilihan persentase setiap kelompok ukuran dilakukan sedemikian rupa hingga gradasi gabungan sekitar 2 – 3% dari gradasi ideal, jika masing-masing kelompok gradasi masih dalam batas-batas yang ditunjukkan dalam Tabel A.3. Dimana batas-batas gradasi yang lain dari yang ada dalam Tabel A.3, diperlukan toleransi yang lebih besar pada beberapa ayakan/saringan tertentu.

Selain itu, agregat alam dari beberapa daerah mungkin tidak cukup dalam beberapa bagian ukuran butiran, dalam hal ini dianjurkan adanya modifikasi dari gradasi ideal untuk memungkinkan digunakannya agregat tersebut.

Tabel A.3 Batas-batas tertentu gradasi agregat kasar

Ukuran ayakan (mm)	Pemisahan Ukuran			
	Persen (%) berat yang lewat masing-masing ayakan			
	4,75 - 19 mm	19 – 37,5 mm	37,5 – 75 mm	75 – 150 mm
177				100
150				90 – 100
100			100	20 – 55
75			90 – 100	0 – 15
50		100	20 – 55	0 - 5
37,5		90 – 100	0 – 10	
25	100	20 – 55	0 - 5	
19	90 – 100	0 – 15		
9,5	20 – 55	0 - 5		
4,75	0 – 10			
2,36	0 - 5			

Tabel A.4 Gradasi gabungan ideal untuk agregat berukuran nominal maksimum 150 mm dan 75 mm dari persamaan C-1

Ukuran ayakan, mm	150 mm		75 mm	
	% lewat		% lewat	
	Pecahan	Bulat	Pecahan	Bulat
150	100	100	-	-
125	85	89	-	-
100	70	78	-	-
75	54	64	100	100
50	38	49	69	75
37,5	28	39	52	61
25	19	28	34	44
19	13	21	25	33
9,5	5	9	9	14

A.2.2.2 Kadar agregat kasar

Banyaknya bagian agregat halus untuk beton massa tergantung pada gradasi gabungan agregat kasar, bentuk partikel/butiran, modulus kehalusan agregat halus, dan banyaknya bahan pengikat. Jumlah agregat kasar yang digunakan dapat diperoleh dengan metoda b/b_0 dari Tabel 5, jika berat satuan gembur telah diketahui. Tabel A.5 menunjukkan presentase penggunaan agregat pada berbagai modulus kehalusan agregat halus untuk agregat kasar ukuran nominal maksimum 75 mm dan 150 mm.

A.2.3 Bahan tambahan

Pada campuran beton massa, perlu selalu diperhatikan penggunaan bahan-bahan tambahan. Dua jenis bahan tambahan yang banyak dipakai dalam beton massa adalah bahan tambahan pembentuk gelembung udara dan bahan tambahan pengurang air.

A.2.3.1 Bahan tambahan pembentuk gelembung udara

Bahan tambahan pembentuk gelembung udara untuk beton massa diperlukan untuk menaikkan sifat kemudahan pengerjaan dari campuran beton kurus. Penggunaan tambahan udara dalam beton massa, sama halnya untuk beton lainnya, memungkinkan untuk memperbaiki tingkat keawetan, plastisitas, dan sifat pengerjaannya, serta mengurangi segregasi dan blinding.

Pengaruh tambahan udara terhadap kekuatan dari beton massa dikurangi seminimum mungkin jumlah pasta semen dalam beton yang mengandung ukuran agregat nominal maksimum 75 mm dan 150 mm. Tetapi pengaruh seperti ini harus dipertimbangkan dalam perencanaan beton massa dengan agregat berukuran nominal maksimum sebesar 37,5 mm dan 19 mm. Pada campuran beton kurus, kekuatan tidak berkurang sebanyak bila digunakan bahan tambahan pembentuk gelembung udara; dalam beberapa kasus, kekuatan mungkin bertambah akibat berkurangnya kebutuhan air dengan tambahan udara. Kadar udara harus sesuai dengan Tabel A.6.

Tabel A.5 Perkiraan kadar agregat kasar bila menggunakan agregat halus alami (N) atau buatan (M) (persentase terhadap volume absolut total agregat)

Ukuran nominal maksimum dan tipe agregat kasar	Tipe pasir	Modulus Kehalusan							
		2,40		2,60		2,80		3,00	
		N	M	N	M	N	M	N	M
150 mm, pecahan		80	78	79	77	78	76	77	75
150 mm, bulat		82	80	81	79	80	78	79	77
75 mm, pecahan		75	73	74	72	73	71	72	70
75 mm, bulat		77	75	76	74	75	73	74	72

Tabel A.6 Perkiraan kadar udara dan mortar untuk berbagai ukuran nominal maksimum agregat (37,5 mm slump dan 5 -6% kadar udara dalam porsi lebih kecil dari 37,5 mm)

Ukuran nominal maksimum dan tipe agregat kasar	Kadar mortar $\text{m}^3/\text{m}^3 + 0,01$	Kadar udara Total campuran (%)
150 mm, pecahan	0,39	3,0 – 4,0
150 mm, bulat	0,37	3,0 – 4,0
75 mm, pecahan	0,44	3,5 – 4,5
75 mm, bulat	0,43	3,5 – 4,5

Tabel A.7 Perkiraan kuat tekan beton dengan tambahan udara untuk berbagai rasio air-semen (berdasarkan pada penggunaan silinder berukuran 150 x 300 mm)

Rasio air-semen berdasarkan berat*	Perkiraan kuat tekan pada umur 28 hari, Mpa*+	
	Agregat alam	Agregat pecahan
0,40	31,0	34,5
0,50	23,4	26,2
0,60	18,6	21,4
0,70	14,5	17,2
0,80	11,0	13,1

* Nilai Rasio Air/Semen ini dapat diubah ke dalam Rasio Air/(Semen+Pozolan) dengan menggunakan persamaan dalam subpasal 5.3.1.4. ;

*+ 90 hari bila menggunakan pozolan.

Tabel A.8 Rasio air-semen yang diperbolehkan untuk penampang yang massif

Letak/lokasi Struktur	Rasio Air-Semen, berdasarkan berat	
	Cuaca sedang dan berat	Cuaca ringan, sedikit salju atau beku
Pada aliran air dalam struktur hidrolis atau muka air dimana kadang - kadang terjadi kejenuhan.	0,50	0,55
Struktur massif yang terlindung	tidak terbatas*	tidak terbatas*
Struktur biasa tidak terlindung	0,50	0,55
Sepenuhnya selalu terendam air	0,58	0,58
Beton yang dibangun di air	0,45	0,45
Terpapar pada air tanah mengandung sulfat atau pada cairan korosif, garam, atau air laut.	0,45	0,45
Beton yang dibangun di aliran air deras (> 12 m/det)	0,45	0,45

CATATAN Nilai-nilai Rasio Air/Semen ini dapat diubah ke dalam Rasio Air/(Semen+Pozolan) dengan menggunakan persamaan dalam 5.3.1.4.

* Batas harus didasarkan pada nilai minimum yang disyaratkan bagi sifat pengerjaan dalam Tabel C.7 untuk mencapai kekuatan.

A.2.3.2 Bahan tambahan pengurang-air

Bahan tambahan pengurang-air yang memenuhi persyaratan SNI 03-2495-1991 terbukti efektif dalam campuran beton massa. Berkurangnya jumlah air memungkinkan dikurangnya kadar semen dengan nilai rasio air-semen yang sama. Banyaknya pengurangan air akan bervariasi dengan nilai 5 – 8%.

A.3 Kekuatan dan keawetan

Prosedur dalam penyusunan campuran beton massa digunakan terutama untuk pengontrolan timbulnya panas dan naiknya temperatur, tetapi masih memenuhi persyaratan kekuatan dan keawetan. Sifat-sifat kekuatan dan keawetan terutama ditentukan oleh rasio air-semen. Rasio air-semen adalah rasio atau perbandingan berat sejumlah air bebas diluar dari air yang diserap oleh agregat terhadap banyaknya semen dalam campuran beton atau mortar. Kecuali sebelumnya sudah tersedia data mengenai hubungan rasio air-semen dan kekuatan tekan, maka perkiraan kekuatan tekan dari silinder beton 150 x 300 mm untuk berbagai rasio air-semen dapat diperkirakan dari Tabel A.7.

Rasio air-semen yang disarankan untuk beton yang akan dipapar dalam berbagai kondisi dapat dilihat dalam Tabel A.8. Rasio air-semen yang didapat dari perhitungan harus diperiksa melalui campuran percobaan untuk menjamin bahwa sifat-sifat beton yang disyaratkan dapat dipenuhi. Hasilnya mungkin menunjukkan bahwa kekuatan dan keawetan yang menentukan susunan campuran dan bukan timbulnya panas. Misalnya, dalam konstruksi bendungan gravity (dam), campuran untuk konstruksi muka bagian luar dapat digunakan tambahan semen untuk mencapai keawetan yang disyaratkan.

Pertimbangan lain adalah dapat mencakup pengurangan temperatur awal dari beton pada saat pengecoran atau membatasi besarnya volume beton yang ditempatkan. Jika kekuatan tekan diberikan untuk seluruh campuran beton massa dengan kandungan agregat lebih besar dari 75 mm, maka perkiraan hubungan antara kekuatan seluruh campuran beton massa dan silinder 150 x 300 mm yang disaring basah.

Tabel A.9 Jumlah dari bahan-bahan yang disarankan untuk pemilihan proporsi

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Jumlah Agregat, kg					Semen, kg
	Agregat halus	Agregat kasar (mm)				
		4,75 – 19	19 - 37,5	37,5 - 75	75 - 150	
19	544	544	-	-	-	181
37,5	454	454	454	-	-	181
75	907	680	454	907	-	227
150	1361	907	680	1134	1361	318

CATATAN 1 Jumlah sebenarnya dari bahan-bahan yang dibutuhkan tergantung pada perlengkapan laboratorium, tersedianya bahan-bahan, dan luasnya program pengujian.

CATATAN 2 Bila pozolan atau abu terbang harus dipergunakan dalam beton, jumlah yang diberikan haruslah sebanyak 35% dari berat semen.

CATATAN 3 penambahan bahan pembentuk gelembung udara atau bahan tambahan kimia sebanyak 3,8 liter

A.4 Pengecoran dan kemudahan pengerjaan

Campuran dengan agregat kasar berukuran nominal maksimum 75 mm dan 150 mm membutuhkan kadar mortar minimum untuk sifat pengecoran dan kemudahan pengerjaan yang sesuai.

Tabel A.6 menunjukkan volume absolut dari mortar (semen, pozolan, air, udara, dan agregat halus) yang dapat digunakan dalam campuran beton yang mengandung ukuran agregat besar. Nilai-nilai ini harus dibandingkan dengan yang ditentukan dalam prosedur penentuan susunan campuran dan penyesuaian dilakukan baik dengan menambah ataupun mengurangi campuran mortar percobaan untuk memperbaiki sifat kemudahan pengerjaan.



Lampiran B
(informatif)
Contoh Perhitungan

B.1 Contoh perhitungan beton normal

Dua contoh soal akan digunakan untuk menggambarkan bagaimana prosedur ini diterapkan.

Contoh 1

Beton dipersyaratkan untuk bagian struktur di bawah permukaan tanah pada lokasi yang tidak akan terpapar pada cuaca terlalu buruk atau serangan sulfat. Pertimbangan struktur meminta syarat kekuatan tekan rata-rata pada umur 28 hari sebesar 24 MPa[†] dengan slump 75 mm sampai dengan 100 mm. Ukuran nominal agregat maksimum 37,5 mm dengan berat kering oven agregat kasar adalah 1600 kg/m³, semen yang digunakan adalah semen tanpa tambahan udara dengan berat jenis 3,15 dengan mengikuti urutan langkah-langkah dalam Pasal 5.

([†] ini bukan nilai syarat yang digunakan dalam rancangan struktur, namun adalah angka yang lebih tinggi yang rata-rata akan dihasilkan; untuk metoda yang menentukan bahwa kekuatan rata-rata harus di atas kekuatan rencana).

Diketahui data bahan sebagai berikut:

	Agregat halus	Agregat kasar
Modulus kehalusan	2,80	--
Berat jenis (SSD)	2,64	2,681
Penyerapan air (%)	0,70	0,50

Banyaknya masing-masing bahan per m³ beton dihitung sebagai berikut :

Langkah 1

Slump yang disyaratkan 75 mm sampai dengan 100 mm.

Langkah 2

Agregat yang digunakan memiliki ukuran nominal maksimum 37,5 mm.

Langkah 3

Beton yang dibuat adalah beton tanpa tambahan udara, karena strukturnya tidak akan terkena pemaparan tingkat berat. Dari Tabel 2, banyaknya air pencampur untuk beton tanpa tambahan udara dengan slump 75 mm sampai dengan 100 mm dan besar butir agregat maksimum yang dipakai 37,5 mm adalah 181 kg/m³.

Langkah 4

Rasio air-semen untuk beton berkekuatan 24 MPa adalah 0,62 dari Tabel 3.

Langkah 5

Dari data yang diperoleh di langkah 3 dan langkah 4, banyaknya kadar semen adalah $181/0,62 = 292 \text{ kg/m}^3$.

Langkah 6

Banyaknya agregat kasar diperkirakan dari Tabel 5. Untuk agregat halus dengan modulus kehalusan 2,8 dan agregat kasar dengan ukuran nominal maksimum 37,5 mm, memberikan angka sebesar 0,71 m³ untuk setiap m³ beton. Dengan demikian, berat keringnya, $0,71 \times 1600 = 1136 \text{ kg}$.

Langkah 7

Dengan sudah diketahuinya jumlah air, semen dan agregat kasar, maka bahan lain yang akan digunakan untuk membuat 1 m³ beton adalah agregat halus dan udara yang akan terperangkap. Banyaknya agregat halus dapat ditentukan berdasarkan berat atau volume absolut sebagai berikut :

7.1 Atas dasar massa (berat)

Dari Tabel 6, massa 1 m³ beton tanpa tambahan udara yang dibuat dengan agregat berukuran nominal maksimum 37,5 mm, diperkirakan sebesar 2410 kg. Untuk campuran percobaan pertama, pengaturan pasti nilai ini akibat adanya perbedaan slump, faktor semen, dan berat jenis agregat tidaklah begitu penting. Berat (massa) yang sudah diketahui adalah :

Air (berat bersih)	181 kg
Semen	292 kg
Agregat kasar	1136 kg
Jumlah	1609 kg

Jadi, massa (berat) agregat halus = 2410 – 1609 = 801 kg

7.2 Atas dasar volume absolut

Dengan jumlah air, semen dan agregat kasar yang ada, dan perkiraan adanya udara terperangkap sebesar 1 persen diberikan dalam Tabel 2 (berlawanan dengan udara yang ditambahkan), maka kadar pasir dapat dihitung sebagai berikut :

Volume air	$= \frac{181}{1000}$	$= 0,181 \text{ m}^3$
Volume padat semen	$= \frac{292}{3,15 \times 1000}$	$= 0,093 \text{ m}^3$
Volume absolute agregat kasar	$= \frac{1136}{2,68 \times 1000}$	$= 0,424 \text{ m}^3$
Volume udara terperangkap	$= 0,01 \times 1,000$	$= 0,010 \text{ m}^3$
Jumlah volume padat bahan selain agregat halus	$=$	$0,708 \text{ m}^3$
Volume agregat halus dibutuhkan	$= 1,000 - 0,708$	$= 0,292 \text{ m}^3$
Berat agregat halus kering yang dibutuhkan	$= 0,292 \times 2,64 \times 1000$	$= 771 \text{ kg}$

7.3 Perbandingan berat campuran satu meter kubik beton yang dihitung dengan dua cara perhitungan di atas adalah sebagai berikut,:

	Berdasarkan perkiraan massa beton, kg	Berdasarkan perkiraan volume absolut bahan- bahan, kg
Air (berat bersih)	181	181
Semen	292	292
Agregat kasar (kering)	1136	1136
Pasir (kering)	801	771

Langkah 8 Koreksi terhadap kandungan air

Pengujian menunjukkan kadar air sebesar 2 persen pada agregat kasar dan 6 persen pada agregat halus. Jika proporsi campuran percobaan dengan anggapan berat (massa) yang digunakan, maka berat (massa) penyesuaian dari agregat menjadi

Agregat kasar (basah) = 1136 (1,02) = 1159 kg
 Agregat halus (basah) = 801 (1,06) = 849 kg

Air yang diserap tidak menjadi bagian dari air pencampur dan harus dikeluarkan dari penyesuaian dalam air yang ditambahkan. Dengan demikian, air pada permukaan yang diberikan dari agregat kasar $(2 - 0,5) = 1,5$ persen; dari agregat halus $(6 - 0,7) = 5,3$ persen. Dengan demikian, kebutuhan perkiraan air yang ditambahkan

$$181 - 1136(0,015) - 801(0,053) = 122 \text{ kg}$$

Perkiraan berat campuran untuk satu m^3 beton menjadi

Air (yang ditambahkan)	122 kg
Semen	292 kg
Agregat kasar (basah)	1159 kg
Agregat halus (basah)	849 kg
Jumlah	2422 kg

Langkah 9

Untuk campuran percobaan di laboratorium, akan lebih mudah bila berat campuran tersebut diperkecil menjadi $0,02 \text{ m}^3$. sekalipun jumlah air menurut perhitungan $= 0,02 \times 122 = 2,44 \text{ kg}$, jumlah yang sesungguhnya digunakan untuk memperoleh slump yang diinginkan sebesar 75 mm sampai dengan 100 mm adalah sebanyak 2,70 kg. (Tabel 6.3.3), campuran yang dibuat menjadi sebagai berikut :

Air (ditambahkan)	2,70 kg
Semen	5,84 kg
Agregat kasar (basah)	23,18 kg
Agregat halus (basah)	16,98 kg
Jumlah	48,70 kg

Beton memiliki slump yang diukur sebesar 50 mm dan bobot isi 2390 kg/m^3 . Ini dianggap memuaskan dari sudut pandang sifat pengerjaan dan penyelesaian akhir. Untuk memberikan hasil yang sesuai, dibuatlah penyesuaian berikut ini :

9.1 Karena jumlah hasil campuran percobaan sebelumnya $48,70/2390 = 0,0204 \text{ m}^3$ dan kadar air pencampur adalah 2,70 (yang ditambahkan) + 0,34 (pada agregat kasar) + 0,84 (pada agregat halus) = 3,88 kg, maka banyaknya air pencampur untuk tiap satu m^3 beton dengan slump yang sama adalah :

$$3,88/0,0204 = 190 \text{ kg}$$

Seperti ditunjukkan dalam 6.3.9.1, jumlah ini harus ditambah lagi 8 kg untuk menaikkan slump yang terukur dari 50 mm menjadi 75 mm sampai dengan 100 mm seperti yang diinginkan, membuat jumlah seluruh air pencampur 198 kg.

9.2 Dengan penambahan air pencampur, akan dibutuhkan tambahan semen untuk memperoleh rasio air-semen 0,62 seperti yang diinginkan. Kadar semen yang baru menjadi

$$198/0,62 = 319 \text{ kg}$$

9.3 Karena sifat pengerjaan ternyata cukup memuaskan, jumlah agregat kasar per satuan volume beton akan dipertahankan sama seperti dalam campuran percobaan. Banyaknya agregat kasar adalah

$$\frac{23,18}{0,0204} = 1136 \text{ kg} \quad \text{basah}$$

Yang sama dengan $\frac{1136}{1,02} = 1114 \text{ kg}$ kering

Dan ini sama dengan $1114 \times 1,005 = 1120 \text{ kg}$ kering permukaan jenuh (SSD)

9.4 Perkiraan baru untuk berat (massa) dari satu m^3 beton adalah bobot isi sebesar 2390 kg/m^3 , maka banyaknya agregat halus yang diperlukan adalah

$$2390 - (198 + 319 + 1120) = 753 \text{ kg kering permukaan (SSD)}$$

$$= 753/1,007 = 748 \text{ kg kering}$$

berat campuran per satu m^3 beton adalah sebagai berikut

Air (berat bersih)	198 kg
Semen	319 kg
Agregat kasar, kering	1114 kg
Agregat halus, kering	748 kg

Langkah 10 penyesuaian susunan campuran

Penyesuaian susunan campuran yang ditentukan atas dasar volume absolut mengikuti prosedur yang baru saja diberikan. Langkah-langkahnya akan diberikan tanpa penjelasan terinci :

10.1 Jumlah nominal sebanyak $0,02 \text{ m}^3$ yang digunakan adalah sebagai berikut :

Air (yang ditambahkan)	2,70 kg
Semen	5,84 kg
Agregat kasar, basah	23,18 kg
Agregat halus, basah	16,34 kg
Jumlah	48,08 kg

Slump diukur 50 mm; massa satuan 2390 kg/m^3 ; menghasilkan $48,08/2390 = 0,0201 \text{ m}^3$; sifat pengerjaan memenuhi syarat.

10.2 Perkiraan jumlah air yang diperlukan untuk slump yang sama dengan campuran percobaan

$$\frac{2,70 + 0,34 + 0,81}{0,0201} = 192 \text{ kg}$$

Air pencampur untuk mendapatkan slump 75 mm sampai dengan 100 mm =

$$192 + 8 = 200 \text{ kg}$$

10.3 Penyesuaian kadar semen untuk air yang lebih banyak

$$200/0,62 = 323 \text{ kg}$$

10.4 Kebutuhan agregat kasar yang disesuaikan

$$\frac{23,18}{0,0202} = 1153 \text{ kg, basah}$$

atau $1163/1,02 = 1130 \text{ kg kering}$

10.5 Volume bahan-bahan selain udara dalam campuran percobaan awal:

Air	$\frac{3,85}{1000} = 0,0039 \text{ m}^3$
Semen	$\frac{5,84}{3,15 \times 1000} = 0,0019 \text{ m}^3$
Agregat kasar	$\frac{22,72}{2,68 \times 1000} = 0,0085 \text{ m}^3$
Agregat halus	$\frac{15,42}{2,64 \times 1000} = 0,0058 \text{ m}^3$
Jumlah	$= 0,0201 \text{ m}^3$

Oleh karena jumlah yang dihasilkannya juga sama, yaitu $0,0201 \text{ m}^3$, tidak ada udara yang dapat diketahui dalam ketelitian dari pemeriksaan bobot isi dan angka-angka perhitungan yang signifikan. Dengan telah diketahuinya proporsi semua komponen terkecuali agregat halus, penentuan jumlah campuran percobaan yang disesuaikan, menjadi sebagai berikut :

Volume air	$\frac{200}{1000} = 0,200 \text{ m}^3$
Volume semen	$\frac{323}{3,15 \times 1000} = 0,103 \text{ m}^3$
Peluang penambahan semen	$= 0,000 \text{ m}^3$
Volume agregat kasar	$\frac{1130}{2,68 \times 1000} = 0,422 \text{ m}^3$
Jumlah volume kecuali agregat halus	$= 0,725 \text{ m}^3$

Volume agregat halus yang dibutuhkan sebanyak $1000 - 0,725 = 0,275 \text{ m}^3$

Berat agregat halus (kering) sebesar $0,275 \times 2,64 \times 1000 = 726 \text{ kg}$

Dengan demikian, berat dasar dari campuran beton, setelah disesuaikan, menjadi sebagai berikut :

Air (berat bersih)	200 kg
Semen	323 kg
Agregat kasar, kering	1130 kg
Agregat halus, kering	726 kg

Angka-angka ini sedikit berbeda jika dibandingkan dengan yang diberikan dalam subpasal 9.4 untuk metode anggapan berat beton. Percobaan atau pengalaman lebih lanjut dapat menunjukkan adanya sedikit tambahan penyesuaian.

Contoh 2

Dibutuhkan beton untuk dermaga jembatan berat yang akan terpapar pada air tawar dalam lingkungan iklim yang sangat buruk. Untuk ini, disyaratkan beton dengan kekuatan tekan umur 28 hari sebesar 20 MPa. Kondisi pengecoran memungkinkan beton dengan slump 25 mm sampai dengan 50 mm dan menggunakan agregat besar, tetapi agregat yang tersedia secara ekonomis dengan mutu yang baik adalah gradasi No. 4 sampai dengan 25 mm. Berat kering ovennya 1522 kg/m^3 . Sifat-sifat lainnya adalah seperti ditunjukkan dalam contoh 1.

Langkah 1

Slump yang disyaratkan adalah 25 mm sampai dengan 51 mm.

Langkah 2

Yang akan digunakan adalah agregat setempat dengan gradasi dari No. 4 sampai dengan 1 in.

Langkah 3

Mengingat struktur akan mengalami kondisi lingkungan yang buruk, akan digunakan beton dengan tambahan udara. Banyaknya air pencampur untuk menghasilkan slump 25 mm sampai dengan 50 mm pada beton dengan tambahan udara yang memakai agregat berukuran 25 mm, diperoleh dari Tabel 2 sebesar 160 kg/m³. Kadar udara disarankan sebesar 6 %.

Langkah 4

Dari Tabel 3 rasio air-semen untuk menghasilkan kekuatan 20 MPa dalam beton dengan tambahan udara diperkirakan sebesar 0,60. Dari Tabel 4 untuk kondisi lingkungan yang buruk rasio air-semen tidak boleh lebih dari 0,50. Nilai yang lebih rendah inilah yang digunakan dalam perhitungan.

Langkah 5

Informasi yang didapat dari langkah 3 dan 4, banyaknya kadar semen dibutuhkan adalah $160/0,50 = 320 \text{ kg/m}^3$.

Langkah 6

Banyaknya agregat kasar diperkirakan dari Tabel 5. Agregat halus dengan modulus kehalusan 2,8 dan agregat kasar dengan maksimum ukuran nominal 25 mm, memberikan angka sebesar 0,67 untuk tiap m³ beton. Dengan demikian, untuk satu m³, diperlukan agregat kasar sebanyak $0,67 \times 1522 = 1020 \text{ kg}$.

Langkah 7

Dengan didapatkannya jumlah air, semen dan agregat kasar, bahan-bahan yang masih harus ditambahkan untuk mendapatkan satu m³ beton adalah agregat halus dan udara. Agregat halus yang dibutuhkan dapat dihitung berdasarkan berat maupun volume absolut sebagai berikut :

7.1 Berdasarkan berat

Dari Tabel 6, berat satu m³ beton dengan tambahan udara, yang dibuat dengan ukuran nominal agregat maksimum sebesar 25 mm, diperkirakan 2290 kg. Untuk campuran percobaan pertama, pengaturan pasti nilai ini akibat adanya perbedaan slump, faktor semen, dan berat jenis agregat tidaklah begitu penting.

Berat yang sudah diketahui adalah

Air, campuran bersih	160 kg
Semen	320 kg
Agregat kasar, kering	1020 kg
Jumlah	1500 kg

Berat agregat halus, dengan demikian diperkirakan $2290 - 1500 = 790 \text{ kg}$ (kering)

7.2 Berdasarkan volume absolut

Dengan diketahuinya jumlah perkiraan semen, air, udara, dan agregat kasar, banyaknya agregat halus dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Volume air} = \frac{160}{1000} = 0,16 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume padat semen} = \frac{320}{3,15 \times 1000} = 0,10 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume padat agregat kasar} = \frac{1020}{2,68 \times 1000} = 0,38 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume udara} &= 0,06 \times 1,00 = 0,06 \text{ m}^3 \\ \text{Jumlah seluruh bahan kecuali agregat halus} &= 0,60 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Banyaknya volume padat agregat halus yang diperlukan} = 1,00 - 0,60 = 0,40 \text{ m}^3$$

$$\text{Banyaknya berat agregat halus kering yang diperlukan} = 0,40 \times 2,64 \times 1000 = 1056 \text{ kg}$$

7.3 Perbandingan berat campuran yang dihitung berdasarkan dua cara tersebut, sebagai berikut :

	Berdasarkan perkiraan berat beton, kg	Berdasarkan perkiraan volume absolut bahan-bahan, kg
Air (berat bersih)	160	160
Semen	320	320
Agregat kasar, kering	1020	1020
Agregat halus, kering	790	1056

Langkah 8

Bila pemeriksaan menunjukkan kadar air total 3% dalam agregat kasar dan 5% dalam agregat halus, maka perkiraan jumlah agregat pada campuran percobaan beton didasarkan pada berat, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Agregat kasar, basah} & 1020 (1,03) = 1050 \text{ kg} \\ \text{Agregat halus, basah} & 790 (1,05) = 830 \text{ kg} \end{aligned}$$

Penyerapan air tidak termasuk bagian dalam air pencampur dan harus dikeluarkan dari perhitungan air yang ditambahkan. Jadi, air permukaan yang diberikan dari agregat kasar = $3 - 0,5 = 2,5$ persen dan agregat halus = $5 - 0,7 = 4,3$ persen. Dengan demikian, kebutuhan air yang harus ditambahkan adalah :

$$160 - 1020 (0,025) - 790 (0,043) = 101 \text{ kg}$$

Perkiraan berat campuran untuk tiap m^3 beton adalah :

$$\begin{aligned} \text{Air, yang harus ditambahkan} & 101 \text{ kg} \\ \text{Semen} & 320 \text{ kg} \\ \text{Agregat kasar, basah} & 1050 \text{ kg} \\ \text{Agregat halus, basah} & 830 \text{ kg} \\ \hline \text{Jumlah} & 2301 \text{ kg} \end{aligned}$$

Langkah 9

Untuk campuran di laboratorium, berat bahan disesuaikan untuk menghasilkan volume beton $0,02 \text{ m}^3$. Sekalipun jumlah air yang harus ditambahkan adalah 2,02 kg, tetapi jumlah yang dipakai sebenarnya untuk menghasilkan slump (25 – 50) mm adalah 2,90 kg. Jadi campuran bahan terdiri dari

$$\begin{aligned} \text{Air, yang ditambahkan} & 2,90 \text{ kg} \\ \text{Semen} & 6,4 \text{ kg} \\ \text{Agregat kasar, basah} & 21,00 \text{ kg} \\ \text{Agregat halus, basah} & 16,60 \text{ kg} \\ \hline \text{Jumlah} & 46,90 \text{ kg} \end{aligned}$$

Hasil pengukuran slump beton adalah 50 mm, bobot isi 2272 kg/m³ dan kadar udara 6,5 persen, diperkirakan beton agak kebanyakan agregat halus demi kemudahan penempatannya. Untuk memberikan jumlah produk dan sifat-sifat lainnya yang benar dalam campuran-campuran selanjutnya, dibuatkan pengaturan penyesuaian sebagai berikut.

9.1 Karena jumlah produk campuran percobaan adalah

$$46,90/2272 = 0,0206 \text{ m}^3$$

dan kadar air pencampur adalah 2,90 (yang ditambahkan) + 0,59 dari agregat kasar + 0,80 dari agregat halus = 4,29 kg, air pencampur yang dibutuhkan untuk satu m³ beton dengan slump yang sama sebagai campuran percobaan menjadi

$$\frac{4,29}{0,0206} = 208 \text{ kg}$$

Dari hasil di atas slump memuaskan, namun karena kadar udara terlalu banyak sebesar 0,5 persen, maka akan dibutuhkan lebih banyak air untuk slump yang benar bila kadar udara dikoreksi. Sebagaimana ditunjukkan dalam 9.3.9.2, air pencampur harus ditambah sekitar 0,5 x 3 atau sekitar 1,5 kg/m³, yang akan menghasilkan perkiraan baru, yaitu 205,5 kg/m³.

9.2 Dengan air pencampur yang lebih sedikit, semen yang dibutuhkan juga berkurang untuk menghasilkan rasio air-semen sebesar 0,5. Kadar semen yang baru menjadi

$$205,5/0,5 = 411 \text{ kg}$$

9.3 Mengingat beton ternyata kebanyakan pasir, jumlah agregat kasar per satuan volume akan ditambah 10 persen menjadi 0,74. Jumlah agregat kasar per m³ menjadi

$$0,74 \times 1522 = 1126 \text{ kg kering}$$

atau

$$1126 \times 1,03 = 1160 \text{ kg basah}$$

dan

$$1126 \times 1,005 = 1132 \text{ kg SSD}$$

9.4 Perkiraan baru untuk berat beton dengan udara yang berkurang sebanyak 0,5 persen adalah $2272/0,995 = 2283,42 \text{ kg/m}^3$. Jadi berat pasir adalah

$$2301 - (205,5 + 411 + 1132) = 552,5 \text{ kg SSD}$$

atau

$$552,5/1,007 = 549 \text{ kg kering}$$

Dosis bahan tambahan kimia harus dikurangi untuk memberikan kadar udara yang disyaratkan

B.2 Contoh perhitungan beton berat

Beton dibutuhkan untuk penyeimbang berat pada jembatan pengangkat yang tidak akan terpapar pada kondisi pembekuan dan pemanasan tinggi. Untuk ini disyaratkan kekuatan beton sebesar 31 MPa. Penempatannya memungkinkan slump sebesar 50 – 75 mm dan menggunakan ukuran nominal maksimum agregat 25 mm. Rancangan beton penyeimbang berat ini mengharuskan berat satuan beton kering oven sebesar 3605 kg/m³. Penyelidikan mengenai bahan-bahan yang ada dan ekonomis menunjukkan sebagai berikut.:

Semen	SNI 15-2049-2004, Tipe I (tanpa tambahan udara)
Agregat halus	<i>Hematite specular</i>
Agregat kasar	<i>Ilmenite</i>

Tabel B.2.1 menunjukkan bahwa kombinasi dari bahan-bahan ini akan memberikan berat isi/berat satuan dalam keadaan kering oven sebesar 3444 – 3845 kg/m³. Penyelidikan mengenai bahan-bahan yang ada dan ekonomis menunjukkan sebagai berikut.:
Sifat-sifat bahan berikut ini diperoleh dari pengujian laboratorium :

	Agregat halus	Agregat kasar
Modulus kehalusan	2,30	--
Berat jenis (SSD)	4,95	4,61
Penyerapan air (%)	0,95	0,08
Berat kering udara	-	2643 kg/m ³
Ukuran maksimum nominal	-	25 mm

Tabel B.2.1 Contoh agregat berat

Nama bahan	Uraian	Berat jenis	Berat Satuan beton (kg/m ³)
Limonite Goethite	Biji besi berair	3,4 -- 3,8	2884 - 3124
Barite	Barium sulfat	4,0 – 4,4	3284 - 3605
Ilmenite Hematite Magnetite	Biji besi	4,2 – 5,0	3444 - 3845
Baja/Besi	Shot, pellets Punchings Dan lain lain	6,5 – 7,5	4966 - 5607

CATATAN Bahan-bahan besi-fosfor dan besi-silika (terak berat) boleh digunakan hanya setelah dilakukan penyelidikan menyeluruh. Keluarnya gas hidrogen dari beton yang mengandung agregat ini diketahui sebagai hasil dari reaksinya dengan semen.

Mengikuti urutan langkah-langkah yang digambarkan dalam 5.3.1, banyaknya bahan-bahan penyusun untuk tiap m³ beton dapat dihitung sebagai berikut:

Langkah ke-1 – Seperti diketahui, slump disyaratkan 50 – 75 mm pada titik penempatan.

Langkah ke-2 – Sumber agregat yang ada menunjukkan kesesuaiannya, dan agregat kasar memiliki gradasi yang baik, dan pecahan ilmenite berbentuk baik dengan ukuran nominal maksimum sebesar 25 mm. Agregat halusnya adalah hematite.

Langkah ke-3 – Dengan interpolasi menurut Tabel 1, beton tanpa tambahan udara dengan 50 – 75 mm slump dan maksimum ukuran nominal agregat 25 mm, membutuhkan kadar air sekitar 141 kg per m³. Perkiraan udara yang terperangkap 1,5 %. (Beton tanpa tambahan udara akan digunakan karena: (1) beton tidak akan terpapar pada cuaca berat; dan (2) kadar udara yang besar dapat mengurangi berat satuan dari beton).

CATATAN Nilai-nilai yang diberikan pada Tabel 1 untuk kebutuhan air didasarkan pada penggunaan agregat kasar pecahan dengan bentuk baik. Kadar rongga udara dari agregat kasar dan halus yang dipadatkan dapat dipakai sebagai tanda bentuk agregat tidak bulat. Kadar rongga udara yang lebih

dari 40% pada agregat kasar kering berukuran 25 mm yang dipadatkan menunjukkan kemungkinan diperlukannya lebih banyak air dari yang dimuat dalam Tabel 1. Sebaliknya, agregat bentuk bulat dengan kadar udara di bawah 35% mungkin akan membutuhkan lebih sedikit air.

Langkah ke-4 – Dari Tabel 2 rasio air-semen yang dibutuhkan untuk menghasilkan kekuatan sebesar 31 MPa dalam beton tanpa tambahan udara adalah 0,52.

Langkah ke-5 – Dari informasi yang berasal dari Langkah ke-3 dan ke-4, kadar semen dihitung menjadi : $141/0,52 = 271 \text{ kg/m}^3$.

Langkah ke-6 – Banyaknya agregat kasar diperkirakan dari ekstrapolasi dari Tabel 5. Untuk agregat halus dengan modulus kehalusan 2,30 dan ukuran maksimum nominal 25 mm, Tabel menunjukkan bahwa $0,72 \text{ m}^3$ agregat kasar atas dasar kering udara, dapat digunakan untuk setiap m^3 beton.

Dengan demikian, untuk setiap 1 m^3 , banyaknya agregat kasar menjadi: $0,72 \text{ m}^3$, dan karena berat kering udara agregat adalah 2643 kg per m^3 , maka banyaknya agregat kasar kering yang harus digunakan dalam m^3 beton = $0,72 \times 2643 = 1903 \text{ kg}$. Pemakaian agregat pecah (bersudut) diimbangi dengan menggunakan berat satuan/berat isi agregat dalam keadaan kering udara; namun demikian penggunaan agregat halus yang terlalu bersudut akan membutuhkan lebih banyak; agregat halus, kadar semen, dan penggunaan tambahan udara untuk memperbaiki sifat pengerjaannya. Penggunaan tambahan udara akan mengurangi berat satuan beton, tetapi kadangkala dibutuhkan untuk keawetan beton.

Langkah ke-7 – Untuk beton berat, agregat halus yang dibutuhkan harus ditentukan berdasarkan volume absolut. Dengan diketahuinya jumlah semen, air, udara, dan agregat kasar, kadar agregat halus dapat dihitung sebagai berikut.:

$$\text{Volume air} = \frac{141 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,141 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume udara} = 0,015 \times 0,765 \text{ m}^3 = 0,011 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume padat Semen} = \frac{271 \text{ kg}}{3,15 \times 1000 \text{ kg/m}^3} = 0,086 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume padat agregat kasar} = \frac{1903 \text{ kg}}{4,61 \times 1000 \text{ kg/m}^3} = 0,413 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume total semua bahan kecuali agregat halus} = 0,651 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume padat agregat halus} = 1 \text{ m}^3 - 0,651 \text{ m}^3 = 0,349 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat agregat halus yang dibutuhkan} = 0,349 \text{ m}^3 \times 4,95 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 1728 \text{ kg}.$$

Hasil pengujian sesungguhnya menunjukkan beton memiliki sifat-sifat sbb.:

bobot isi beton segar	=	3776 kg per m^3
Berat satuan kering oven	=	3656 kg per m^3
Kadar udara	=	2,8 %
Slump	=	62,5 mm
Kekuatan, umur 28 hari	=	34 MPa

CATATAN Berat Satuan/Berat Isi kering oven dari beton dengan kombinasi agregat hematite dan ilminite adalah 3 kg per m^3 lebih kecil dari berat satuan beton segar.

B.3 Contoh perhitungan beton massa

Beton untuk jembatan dermaga yang terpapar pada air segar dalam cuaca berat. Kekuatan tekan rencana adalah 20,7 Mpa pada umur 28 hari. Kondisi penempatan mengizinkan penggunaan agregat besar, dan agregat yang tersedia adalah berupa batu pecah berukuran nominal maksimum 150 mm. Pengujian laboratorium menunjukkan nilai berat jenis (*bulk s.g*) untuk kelompok-kelompok ukuran 150 mm; 75 mm; 37,5 mm; dan 19 mm, masing-masing 2,72; 2,70; 2,70; dan 2,68; agregat halus alami yang tersedia memiliki berat jenis (*bulk s.g*) 2,64 dengan modulus kehalusan 2,80. Pozolan yang tersedia adalah berupa Abu terbang Kelas F dan harus digunakan untuk mengurangi timbulnya panas dalam beton. Berat jenis pozolan 2,45 dan semen Portland 3,15.

Langkah ke-1 – Tentukan sifat-sifat yang disyaratkan antara lain:

1. Agregat batu pecah berukuran nominal maksimum 150 mm tersedia dan cukup ekonomis untuk digunakan.
2. Rentang slump dari beton = 25 mm – 50 mm sebagaimana diukur pada porsi lebih kecil dari 37,5 mm;
3. Maksimum rasio air-semen yang disyaratkan adalah 0,50 untuk tujuan keawetan;
4. Disarankan temperatur beton pada saat pengecoran 18°C atau lebih rendah;
5. Beton harus mendapatkan tambah udara dalam rentang 1½ % sampai dengan 5% bila diuji untuk bahan dengan fraksi kurang dari 37,5 mm;
6. Dengan anggapan deviasi standard sebesar 3,45 MPa, pertimbangan pengawasan keseluruhan konstruksi yang baik, dan 80% dari hasil pengujian yang dilakukan lebih dari kekuatan rencana yang disyaratkan, maka dibutuhkan kekuatan rata-rata yang tidak kurang dari 23,4 MPa pada umur 28 hari (90 hari bila digunakan pozolan).
7. Beton akan mengalami kondisi pemaparan yang sangat keras;
8. Kecepatan maksimum aliran air beton 12 m/detik.
9. Agregat yang tersedia memenuhi ketentuan persyaratan dari proyek.
10. Spesifikasi proyek mengharuskan penggunaan semen portland Tipe II dan membolehkan digunakannya pozolan atau semen Portland tipe I ditambah pozolan.

Langkah ke-2 – Tentukan sifat-sifat dari bahan-bahan:

- 1 Agregat kasar memiliki analisa ayak sebagai berikut :

Ukuran ayakan mm	Persentase yang lewat masing-masing ayakan			
	(4,75 – 19mm)	(19-37,5mm)	(37,5-75mm)	(75-150mm)
175				100
150				98
125				60
100			100	30
75			92	10
50		100	30	2
37,5		94	6	
25	100	36	4	
19	92	4		
9,5	30	2		
4,75	2			

2. Berat jenis agregat kasar dan agregat halus (kering permukaan jenuh) ditentukan sebagai berikut:

Ukuran nominal agregat	Berat Jenis
150 – 75 mm	2,72
75 - 37,5 mm	2,70
37,5 -19 mm	2,70
19 – 4,75 mm	2,68
Agregat halus	2,64

3. Penyerapan air agregat kasar dan halus adalah sebagai berikut:

Ukuran nominal agregat	Penyerapan air (%)
150 – 75 mm	0,5
75 - 37,5 mm	0,75
37,5 -19 mm	1,0
19 – 4,75 mm	2,0
Agregat halus	3,2

4. Agregat kasar berupa batu pecah dan agregat halus berupa pasir/alam;
 5. Modulus kehalusan agregat halus = 2,80
 6. Berat jenis semen portland dan pozolan, masing-masing adalah 3,15 dan 2,45.
 7. Pengujian sifat-sifat kimia dan fisik dari semen portland dan pozolan memenuhi persyaratan dalam spesifikasi proyek.

Langkah ke-3 – Pemilihan Rasio Air-Semen

Dari Tabel A.8, kondisi pemaparan mengizinkan maksimum rasio air-semen sebesar 0,50 dan Tabel A.7 menyarankan maksimum rasio air-semen 0,57 untuk mencapai kekuatan rata-rata yang disyaratkan 23,44 Mpa. Karena kondisi pemaparan mensyaratkan rasio air-semen yang lebih rendah, rasio air-semen rencana akan menjadi 0,48 atau 0,02 lebih rendah dari nilai yang diizinkan untuk membiarkan penyesuaian di lapangan.

Mengingat pozolan abu terbang tersedia dan jumlah beton dari proyek membenarkan pemakainnya secara ekonomis, 25% volume akan digunakan sesuai Tabel A.1

Langkah ke-4 – Perkiraan banyaknya air pencampur yang disyaratkan.

Dari Tabel 1 perkiraan kadar air adalah 107 kg/m³ didasarkan pada penggunaan 150 mm batu pecah dan slump sebesar 25 mm - 50 mm.

Langkah ke-5 – Pemilihan kadar udara.

Kadar udara total dipilih sebesar 3,2 %; ini masih dalam rentang yang disarankan dalam Tabel A5.6. Pada waktu penyesuaian, setelah semua bahan penyusun ditentukan, jumlah total kadar udara yang lebih tepat dapat dihasilkan dengan menggunakan Persamaan A.6.

Langkah ke-6 – Tentukan berat semen dari rasio air-semen dan kebutuhan air.

Dari langkah ke-3 diketahui Rasio Air/Semen = 0,48

Dengan demikian, berat semen dalam seluruh campuran semen sama dengan

$$\frac{107}{0,48} = 222 \text{ kg/m}^3$$

Langkah ke-7 – Tentukan volume absolut per m³ untuk bahan-bahan bersifat semen, kadar air, dan kadar udara. Untuk ini akan digunakan 25% volume pozolan yang disarankan dalam Tabel A.1. Dengan menggunakan Persamaan (3a), (3b) dan (3c), volume absolut bahan bersifat semen dapat ditentukan :

$$V_{c+p} = \frac{C_w}{G_c (62,4)} = \frac{222}{3,15 (1000)} = 0,070$$

$$V_c = V_{c+p} (1 - F_v) = 0,070 (1 - 0,25) = 0,052$$

$$V_p = V_{c+p} (F_v) = 0,070 (0,25) = 0,018$$

$$V_w = \frac{107}{1000} = 0,107$$

$$V_A = 0,032 (1,0) = 0,032$$

Langkah ke-8 – Untuk agregat halus alami dengan modulus kehalusan 2,80 dan agregat batu pecah 152 mm, volume agregat kasar yang digunakan dalam campuran percobaan adalah 78% -- Lihat Tabel A.5.

Langkah ke-9 -- Tentukan volume absolut dari agregat halus dan kasar.

$$1,0 - V_w - V_A - V_{c+p} = \text{Volume agregat/m}^3.$$

$$1,0 - (0,107 + 0,032 + 0,07) = 0,79$$

$$\text{Volume agregat kasar} = 0,79 (0,78) = 0,62$$

$$\text{Volume agregat halus} = 0,79 (0,22) = 0,17$$

Langkah ke-10 – Gabungkan berbebagai kelompok ukuran agregat kasar. Gradasi dari agregat yang ada digabungkan/dikombinasikan dengan perhitungan coba-coba dan menghasilkan persentase untuk masing-masing kelompok sbb.:

4,75 mm – 19 mm	=	15 %
19 mm – 75 mm	=	15 %
75 mm – 150 mm	=	25 %
150 mm – 300 mm	=	45 %

Langkah ke-11 – Ubah semua nilai volume absolut ke dalam berat per satuan volume, sebagai berikut.:

Jenis Bahan	Volume absolut x berat jenis	(kg/m ³)
Semen portland	0,052(3150)	167
Pozolan	0,018(2450)	43
Air	0,107(1000)	107
Udara	0,032	--
Agregat halus	0,17(2640)	459*
Agregat kasar :		
(4,75 – 19 mm)	0,62(0,15)(2680)	248 *
(19 – 75 mm)	0,62 (0,15)(2700)	250 *
(75 – 150 mm)	0,62 (0,25)(2700)	416 *
(150 – 300 mm)	0,62 (0,45)(2720)	755 *

* Berat didasarkan pada agregat dalam kondisi kering permukaan.

Langkah ke-12 – Periksa kadar mortar dan bandingkan dengan Tabel A.6.

$$\begin{aligned}\text{Kadar mortar} &= V_c + V_p + V_w + V_s + V_A \\ &= 1,43 + 0,48 + 2,83 + 4,70 + 0,86 \\ &= 0,383 \text{ m}^3/\text{m}^3\end{aligned}$$

Dari Tabel A.6, kadar mortar diperkirakan = $0,39 \text{ m}^3/\text{m}^3$ yang masih berada dalam batas toleransi $\pm 0,01 \text{ m}^3$ dari nilai total.

Langkah ke-13 -- Campuran percobaan. Dari informasi tersebut di atas volume absolut dan berat per m^3 dari masing-masing bahan penyusun terhitung sebagai berikut. :

Jenis Bahan	Volume absolut (m^3/m^3)	Berat (kg/m^3)
Semen portland	0,052	167
Pozolan	0,018	43
Air	0,107	107
Udara	0,032	---
Agregat halus	0,174	459*
Agregat kasar :		
(4,75 – 19 mm)	0,093	248*
(19 – 75 mm)	0,093	250*
(75 – 150 mm)	0,154	416 *
(150 – 300 mm)	<u>0,277</u>	<u>755*</u>
Jumlah	1,000	2444 *

* Berat didasarkan pada agregat kering permukaan.

Nilai berat di atas hendaklah dikurangi secara proporsional untuk memudahkan persiapan campuran percobaan yang pada saatnya harus dievaluasi untuk koreksi kesesuaian kadar air, slump, kadar udara, dan sifat pengerjaan secara umum. Setelah penyesuaian yang diperlukan, harus dibuat campuran percobaan untuk verifikasi kekuatan dan sifat-sifat beton lainnya yang diinginkan.

Lampiran C (informatif) Pengujian laboratorium

C.1 Pemilihan campuran beton dapat dilaksanakan secara efektif dari hasil pengujian laboratorium yang menentukan sifat-sifat fisik mendasar dari bahan-bahan yang akan digunakan, hubungan antara rasio air-semen atau rasio air-semen+pozolan, kadar udara, kadar semen, dan kekuatan, serta informasi mengenai karakteristik atau sifat kemudahan pengerjaan dari berbagai susunan campuran bahan.

C.2 Sifat-sifat semen.

Sifat fisik dan kimia semen dapat mempengaruhi sifat beton yang sudah mengeras. Berat jenis semen portland biasanya sebesar 3,15. Untuk tipe lainnya seperti: semen Portland campur, semen terak tanur tinggi atau pozolan, berat jenis yang digunakan harus ditentukan melalui pengujian.

C.3 Sifat-sifat agregat

C.3.1 Analisa ayak, berat jenis, penyerapan air, dan kadar air dari agregat kasar dan agregat halus, dan berat satuan agregat kasar kering udara, adalah sifat-sifat fisik untuk menghitung susunan campuran. Pengujian lainnya yang diperlukan untuk pekerjaan besar atau khusus termasuk pemeriksaan petrografik, dan pengujian reaktivitas kimiawi, kekekalan (*soundness*), keawetan, ketahanan aus, dan berbagai zat yang merusak.

C.3.2 Susunan besar butir/gradasi dari agregat merupakan faktor utama untuk menentukan kebutuhan air, proporsi dari agregat kasar dan pasir, dan kadar semen untuk sifat pengerjaan yang memuaskan. Sifat pengerjaan tambahan yang dilaksanakan dengan memasukkan tambahan udara, sampai batas-batas tertentu, boleh menggunakan agregat dengan gradasi yang kurang ketat.

C.3.3 Contoh-contoh untuk pengujian campuran beton haruslah mewakili agregat yang akan dipakai di dalam pekerjaan. Untuk pengujian laboratorium, agregat harus dipisahkan ke dalam beberapa fraksi yang disyaratkan dan disatukan kembali pada waktu pencampuran untuk menjamin keterwakilan gradasi dalam campuran pengujian. Dalam kondisi tertentu, untuk pekerjaan yang cukup besar, pengujian laboratorium dapat mengupayakan bagaimana mengatasi kurang tepatnya gradasi agregat yang tersedia.

Gradasi yang kurang baik dari pasir dapat diperbaiki dengan cara :

- (1) memisahkan pasir kedalam dua atau lebih fraksi menurut besar butirnya, lalu menggabungkannya kembali ke dalam gradasi yang sesuai;
- (2) menambah atau mengurangi jumlah dari ukuran-ukuran tertentu untuk memenuhi gradasi yang diinginkan;
- (3) kurangi kelebihan butir-butir kasar dengan memecah atau menggilingnya.

Gradasi yang kurang baik dari agregat kasar dapat diperbaiki dengan cara :

- (1) hancurkan fraksi butir-butir yang terlalu besar;
- (2) pisahkan yang ukuran-ukurannya terdapat berlebihan;
- (3) gantikan ukuran-ukuran bagian yang kurang baik dari sumber lainnya;
- (4) lakukan kombinasi dari cara-cara ini.

Biasanya, gradasi agregat yang disyaratkan haruslah sejalan dengan gradasi dari bahan-bahan yang tersedia.

C.4 Perkiraan campuran uji

C.4.1 Data yang tersedia dalam Tabel C.4.1 dapat digunakan untuk membuat perkiraan kasar jumlah susunan bahan-bahan campuran uji. Namun demikian, masih terlalu umum untuk diterapkan secara tepat. Oleh karena itu, bila fasilitas memungkinkan, disarankan membuat serangkaian pengujian beton untuk menghasilkan hubungan secara kuantitatif bagi bahan yang akan digunakan.

Tabel C.4.1 Program uji coba campuran untuk menghasilkan sifat-sifat beton dengan menggunakan bahan-bahan lokal

Jumlah per m ³ campuran, kg							Sifat-sifat beton				
No. camp	Semen	Pasir	Agregat kasar	Air		Jumlah	Slump mm	Berat satuan kg/m ³	Yield m ³	Kuat tekan 28 hr MPa	Kemudahan pengerjaan
				perkiraan	pemakaian						
1	297	816	1074	193	208	2394	101.6	2354.94	0.78	-----	Pasir berlebihan
2	297	742	1112	205	202	2352	76.2	2354.94	0.76	23.10	o.k.
3	237	792	1112	205	205	2347	114.3	2330.91	0.77	14.69	o.k.
4	267	765	1112	205	205	2349	101.6	2342.12	0.77	18.00	o.k.
5	326	718	1112	205	205	2361	76.2	2362.95	0.76	26.20	o.k.
6	356	691	1112	205	205	2364	88.9	2375.77	0.76	30.06	o.k.

C.4.2 Pertama, suatu campuran (*batch*) dengan kadar semen sedang dan dengan kekentalan yang dapat dipakai disusun proporsinya dengan metoda yang sudah dijelaskan. Dalam mempersiapkan Campuran No.1, air yang digunakan untuk menghasilkan nilai slump yang diinginkan. Beton segar diuji slump dan berat satuannya, dan diamati sifat-sifat kemudahan pengerjaan dan penyelesaiannya.

C.4.3 Campuran No.2 disiapkan, disesuaikan untuk membetulkan kesalahan dari Campuran No.1, dan dilakukan pengujian dan evaluasi ulang. Dalam hal ini, sifat-sifat yang diinginkan dapat dicapai dengan toleransi kecil, dan dicetak benda uji silinder untuk pengujian kekuatan tekannya. Informasi yang diperoleh dapat digunakan untuk memilih proporsi campuran uji tambahan, No.3 hingga No.6, dengan kadar semen di atas dan di bawah kadar semen dari campuran No.2. Penyesuaian dari berat campuran ini dapat dilakukan dengan cara koreksi menurut catatan pada Tabel 6.

C.4.4 Campuran No.2 sampai No.6 memberikan berbagai informasi, termasuk hubungan antara kekuatan dan rasio air-semen.

C.4.6 Rangkaian pengujian seperti digambarkan dalam Tabel C.4.1 dapat diperluas sesuai dengan tuntutan besarnya ukuran dan persyaratan khusus dari pekerjaan. Beberapa variabel yang memerlukan penyelidikan meliputi : sumber agregat alternatif; ukuran maksimum butir dan gradasinya; berbagai tipe dan merek dagang dari semen; pozolan; bahan tambahan; dan pertimbangan mengenai keawetan beton, perubahan volume; kenaikan temperatur; dan sifat-sifat panas.

C.5 Metoda Pengujian

C.5.1 Dalam melaksanakan pengujian di laboratorium untuk memperoleh data proporsi campuran beton, harus menggunakan metoda-metoda berikut ini :

C.5.1.1 Untuk pengujian agregat :

Pengambilan Contoh Semen --- SNI 15-2049-2004

Berat Jenis Semen Hidrolik --- SNI 15-2049-2004

Pengambilan Contoh Batu, Terak Tanur Tinggi, Kerikil, Pasir, dan Batu Belah untuk digunakan sebagai Bahan Jalan Raya --- ASTM D 75

Analisa Ayak atau Saringan dari Agregat Kasar dan Agregat Halus --- SNI 03-1968-1990

Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar --- SNI 03-1969-1990

Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus --- SNI 03-1970-1990

Kandungan Air pada Permukaan Agregat Halus --- ASTM C 70

Kadar Air Total dari Agregat melalui Pengeringan --- ASTM C 566.

Berat Satuan/Berat Isi Agregat --- SNI 03-4804-1998

Kantong Udara pada Agregat untuk Beton --- ASTM C 29

Modulus Kehalusan – Penamaan berkaitan Beton dan Agregat Beton -- SNI 03-1968-1990

C.5.1.2 Untuk pengujian beton :

Tata Cara Pengambilan Contoh Uji Beton Segar --- SNI 03-2458-1991

Kadar Udara Beton Segar melalui Metoda Tekanan --- SNI 03-3418-1994

Cara Uji Slump Beton --- SNI 03-1972-1990

Benda Uji Kuat Lentur dan Kompresi Beton, Pembuatan dan Pemeliharaan di Laboratorium - --- SNI 03-2493-1991.

Cara Uji Kuat Tekan Beton --- SNI 03-1974-1990.

Metode Pengujian Kuat Lentur Beton Normal dengan 2 (dua) titik pembebanan --- SNI 03-4431-1997

Kuat Lentur Beton (menggunakan balok sederhana dengan pembebanan terpusat) – SNI 03-4154-1996.

Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton --- SNI 03-2491-2002.

C.6 Campuran untuk pekerjaan-pekerjaan Kecil.

C.6.1 Untuk pekerjaan-pekerjaan kecil dimana tidak tersedia waktu dan personil yang cukup untuk menentukan proporsi campuran beton sesuai prosedur yang disarankan, campuran dalam Tabel D.6.1 biasanya akan memberikan beton yang cukup kuat dan awet bila jumlah air yang ditambahkan pada campuran tidak terlalu banyak. Campuran ini telah ditentukan sebelumnya dan memenuhi prosedur yang disarankan dengan anggapan bahwa kondisi dapat diterapkan untuk rata-rata pekerjaan kecil umumnya, dan untuk agregat dengan berat jenis sedang. Tiga campuran diberikan untuk tiap ukuran nominal maksimum dari agregat kasar. Untuk ukuran agregat kasar yang dipilih, Campuran B digunakan untuk penggunaan awal. Jika campuran ini ternyata kebanyakan pasir, tukar menjadi Campuran C; jika kurang pasir, tukar ke Campuran A. Perlu dicatat bahwa campuran-campuran yang termuat dalam daftar tersebut didasarkan pada penggunaan pasir kering oven atau kering permukaan. Bila agregat halus nya lembab atau basah, betulkanlah berdasarkan berat campuran yang dijelaskan pada catatan kaki.

C.6.2 Perkiraan banyaknya kadar semen dalam setiap m^3 beton seperti dalam Tabel C.6.1 akan berguna untuk memperkirakan kebutuhan semen yang didasarkan jumlah air yang dituangkan ke dalam cetakan tanpa segregasi.

Tabel C.6.1 Campuran beton untuk pekerjaan kecil

Prosedur : Pilih agregat dengan ukuran maksimum yang sesuai (lihat butir 5.3.2). Gunakan Campuran B, tambahkan air secukupnya untuk mendapatkan kekentalan yang mudah dikerjakan. Jika campuran kelihatan kurang pasir, tukar ke Campuran A, dan jika kelihatan kelebihan pasir, tukar ke Campuran C						
Ukuran agregat nominal maksimum (mm)	Kode mix design	Perkiraan berat bahan-bahan padat penyusun per m ³ beton, kg				
		Semen	Pasir*		Agregat kasar	
			Beton dengan tambahan udara [†]	Beton tanpa tambahan udara	Kerikil atau batu pecah	Terak tanur tinggi
12,7	A	400,50	768,96	817,02	865,08	752,94
	B	400,50	736,92	784,98	897,12	784,98
	C	400,50	704,88	752,94	929,16	817,02
19,05	A	368,46	720,90	784,98	993,24	865,08
	B	368,46	688,86	752,94	1025,28	897,12
	C	368,46	656,82	720,90	1057,32	929,16
25,4	A	352,44	656,82	720,90	1121,40	977,22
	B	352,44	624,78	688,86	1153,44	1009,26
	C	352,44	592,74	656,82	1185,48	1041,30
38,1	A	320,40	656,82	720,90	1201,50	1041,30
	B	320,40	624,78	688,86	1233,54	1073,34
	C	320,40	592,74	656,82	1265,58	1105,38
50,8	A	304,38	640,80	720,90	1265,58	1105,38
	B	304,38	608,76	688,86	1297,62	1137,42
	C	304,38	576,72	656,82	1329,66	1153,44

* Berat adalah berat kering pasir. Jika digunakan pasir lembab, naikkan berat pasir sebanyak 1 kg, dan jika pasirnya sangat basah, naikkan 2 kg.

[†] Beton dengan tambahan udara harus selalu digunakan untuk semua struktur yang akan terpapar pergantian cuaca pembekuan dan panas tinggi. Tambahan udara dapat diperoleh dengan menggunakan semen dengan tambahan udara, atau dengan menambahkan bahan tambahan pembentuk gelembung udara. Jika menggunakan bahan tambahan pemasok semen, jumlah yang disarankan oleh produsen bahan tambahan biasanya akan memberikan kadar udara yang diinginkan.